

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyziologie živočichů a vývojové biologie



MIKROKLIMATICKÉ PARAMETRY PŘÍRODNÍCH A UMĚLÝCH TYPŮ ÚKRYTŮ DENDROFILNÍCH A ŠTĚRBINOVÝCH DRUHŮ NETOPÝRŮ

**MICROCLIMATIC CHARACTERISTICS OF NATURAL AND
SYNANTHROPIC ROOSTS OF DENDROPHILOUS AND
CREVICE-DWELLING BATS**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením školitele doc. RNDr. Stanislava Vybírala, CSc. a Mgr. Radka Lučana, Ph.D a všechny použité prameny jsem řádně citovala.

V Praze dne

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat Mgr. Radkovi Lučanovi, Ph.D a doc. RNDr. Stanislavu Vybíralovi, CSc. za odborné vedení , praktické rady a ochotnou pomoc v průběhu zpracování diplomové práce. Dále děkuji Mgr. Heleně Jahelkové, Ph.D a Mgr. Anně Bláhové za zapůjčení netopýrů pro tuto diplomovou práci a za poskytnuté rady v oblasti manipulace s netopýry. Na závěr si dovoluji poděkovat svým rodičům za podporu během celého mého studia.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	5
ABSTRACT	6
ABSTRAKT	7
1. ÚVOD	8
2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	9
3. LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1. VÝZNAM MIKROKLIMATU	12
3.2. TYPY ÚKRYTŮ A TEPLOTNÍ PREFERENCE V OBDOBÍ MIMO HIBERNACI.....	14
3.3. STRÍDÁNÍ ÚKRYTŮ – PŘÍČINY A DŮSLEDKY	16
3.4. TERMOREGULACE.....	17
3.5. SOCIÁLNÍ TERMOREGULACE.....	19
3.6. VLIV VYSOKÝCH TEPLOT NA TERMOREGULACI	20
4. MATERIÁL A METODIKA	22
4.1. CHARAKTERISTIKA STUDOVANÉ OBLASTI.....	22
4.2. METODIKA MĚŘENÍ.....	23
4.3. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT	29
5. VÝSLEDKY	30
5.1. TEPLOTNÍ PROFIL RŮZNÝCH TYPŮ ÚKRYTŮ DENDROFILNÍCH DRUHŮ NETOPÝRŮ	30
5.2. TEPLOTNÍ PARAMETRY UMĚLÉHO A PŘIROZENÉHO ÚKRYTU DENDROFILNÍHO NETOPÝRA MYOTIS DAUBENTONII V RŮZNÝCH OBDOBÍCH JEHO REPRODUKČNÍHO CYKLU	36
5.3. VLIV RŮZNÝCH OKOLNÍCH TEPLOT NA VELIKOST ENERGETICKÉ PŘEMĚNY	46
6. DISKUZE	50
7. ZÁVĚR	54
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BMR	basální metabolismus
T_{ac}	aktivní teplota
T_{amb}	okolní teplota
T_{ampl}	denní teplotní amplituda
T_b	tělesná teplota
T_{max}	maximální denní teplota
T_{mean}	průměrná denní teplota
T_{min}	minimální denní teplota
TNZ	termoneutrální zóna

ABSTRACT

This study has tested microclimatic characteristics of natural and synanthropic roosts in the Třeboňsko Biosphere Reserve - an important area in South Bohemia. Using a data logger, we measured the temperature in cavities used and unused by bats and compared them with temperature in artificial roost - window shutter and limekiln. Our results provide direct evidence that limekiln and cavities are occupied by different species of bats in comparison with window shutter and we contend that selecting microclimatic conditions of roosts are species-specific. Using limekiln may be more advantageous to bats than tree cavities, especially during pregnancy and lactation, since it provides suitable microclimate for roosting. This may be one of the factors associated with aggregation of maternity colonies during gestation period.

Further we measured metabolic rate (oxygen consumption) in various temperatures of surroundings. Following species were taken into experiments: *Eptesicus serotinus* and *Nyctalus noctula*. The temperature interval was 26 - 43 °C. Our results confirmed different demands on microclimatic conditions in both species. We hypothesize that high roost temperatures within the thermal neutral zone enables bats to maintain body temperature passively thereby minimize energetic costs.

Key words: Chiroptera, roost microclimate, thermoregulation, basal metabolic rate

ABSTRAKT

Cílem této práce bylo porovnat mikroklimatické charakteristiky přírodních a umělých typů úkrytů v biosférické rezervaci Třeboňsko na jihu Čech. S využitím datalogerů jsme měřili teplotní parametry dutin obsazených a neobsazených netopýry a porovnávali je s teplotou umělých úkrytů – okenic a vápenky. Naše výsledky prokázaly, že vápenka a stromové dutiny jsou ve studované oblasti obývány jinými druhy netopýrů než okenice, což dokazuje, že nároky na úkrytové mikroklima jsou druhově specifické. Využití vápenky může být pro netopýry výhodné zejména v období březosti a laktace, jelikož jim poskytuje příznivější mikroklima v porovnání se stromovými dutinami, což může být jeden z důvodů proč se v ní během březosti agreguje tak velká kolonie samic.

Dále byla měřena velikost metabolismu za různých okolních teplot. V experimentu byly využity tyto druhy netopýrů: netopýr večerní (*Eptesicus serotinus*) a netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*). Velikost metabolismu byla měřena v rozmezí teplot 26-43 °C. Naše výsledky potvrdily rozdílné nároky obou zkoumaných druhů netopýrů na mikroklimatické poměry. Lze předpokládat, že vysoké teploty spadající do termoneutrální zóny pravděpodobně umožňují netopýrům udržovat tělesnou teplotu pasivně a tím minimalizovat energetické nároky.

Klíčová slova: letouni, úkrytové mikroklima, termoregulace, basální metabolismus

1. ÚVOD

Způsob života hmyzožravých netopýrů mírného pásma je energeticky velice náročný, neboť jsou, na rozdíl od druhů žijících v tropech, více vystaveni nepřízní počasí a nedostatku potravy v průběhu roku. Pro přežití a úspěšnou reprodukci bylo nezbytné přizpůsobit se těmto podmínkám. Mezi strategie snižující energetické nároky patří zejména torpor, sociální termogenese, hibernace a dále výběr vhodného úkrytu, který poskytuje netopýrům příznivé mikroklima a tím pozitivně ovlivňuje jejich hospodaření s energií.

Tato diplomová práce je zaměřena na dendrofilní a štěrbinové druhy netopýrů s cílem zhodnotit rozdílnost mikroklimatu v různých typech úkrytů a posoudit energetickou náročnost při udržování tělesné teploty v těchto prostředích.

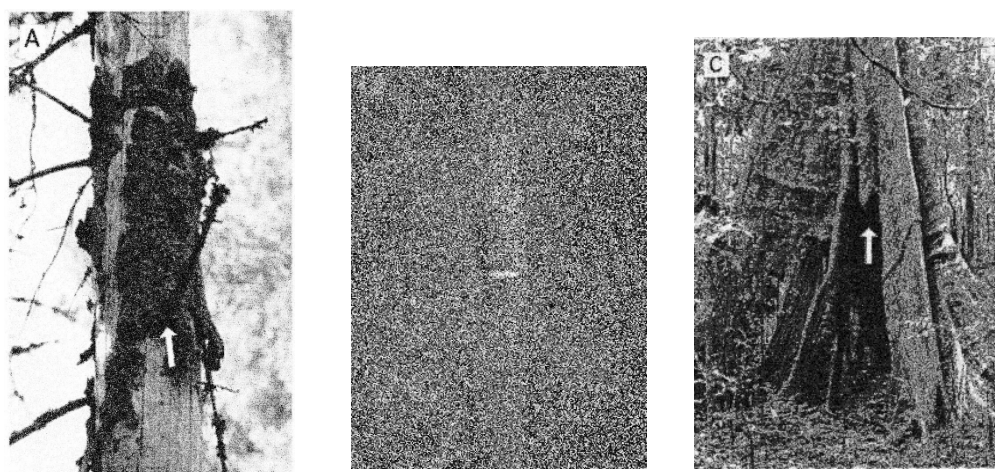
2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Srovnat teplotní profil různých typů úkrytů dendrofilních a štěrbinových druhů netopýrů
- Porovnat teplotní parametry umělého a přirozeného úkrytu dendrofilního netopýra *Myotis daubentonii* v různých obdobích jeho reprodukčního cyklu
- Na základě získaných údajů se pokusit zhodnotit vliv různých okolních teplot na velikost energetické přeměny u netopýra večerního (*Eptesicus serotinus*) a netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*)

3. LITERÁRNÍ PŘEHLED

Netopýři jsou více než polovinu svého života vystaveni vlivu podmínek ve svých úkrytech a proto není překvapující, že úkryty hrají významnou roli v ekologii a evoluci těchto živočichů (Kunz, 1982). Mnoho autorů se zabývá souvislostmi mezi úkrytovými preferencemi, morfologickým přizpůsobením, velikostí kolonie, sociální organizací a potravními strategiemi. Výběr úkrytu je rovněž diskutován v kontextu dostupnosti potravy a období reprodukčního cyklu (Kunz a Lumsden, 2003). Ukázalo se ale, že ne všechny potenciální úkryty jsou stejně vhodné a jejich výběr je ovlivňován množstvím faktorů (Barclay a Kurta, 2007).

Netopýři obývají široké spektrum úkrytů přírodního i antropogenního původu. Některé druhy preferují jeskyně, skalní štěrby, doly, mosty či budovy, další zase úkryty vytvořené jinými živočichy (nejčastěji ptáky nebo termity), pod kůrou stromů či stromové dutiny. Jiné druhy netopýřů, většinou tropické, tráví den na otevřených místech, nejčastěji v korunách stromů. Kuriózním typem úkrytů jsou svinuté listy různých druhů rostlin, tvořící jakýsi „stan“ (obr. 1).





Obr. 1: Typy úkrytů (Kunz and Lumsden, 2003; tyncanskykras.cz/o-jeskynich; stranska-skala.ic.cz/?p=34; www.mestoty nec.cz/muzeum/kolonie.htm; www.ireceptar.cz/.../).

Volba vhodného úkrytu je ovlivněna řadou faktorů. Roli zde hrají například některé strukturální charakteristiky jako velikost dutiny, umístění vstupního otvoru, expozice celého úkrytu vůči slunečnímu záření a hustota okolní vegetace, což jsou faktory okolního prostředí podléjící se na tvorbě vlastního mikroklimatu, a v neposlední řadě blízkost k vodnímu či potravnímu zdroji (Willis a Brigham, 2005). Relativní důležitost jednotlivých vlastností úkrytů se liší mezi druhy, populacemi, pohlavím a obdobím reprodukčního cyklu (Barclay a Kurta, 2007).

Všechny výše zmiňované typy úkrytů poskytují netopýrům nejen ochranu před predátory a nepřízní počasí, ale slouží také jako bezpečné zázemí pro mláďata, jsou místem četných sociálních interakcí a svým mikroklimatem příznivě ovlivňují energetickou bilanci (Kunz a Lumsden, 2003). Důkazem mimořádného významu úkrytů v životě netopýrů jsou i výsledky řady studií, které potvrdily, že dostupnost vhodných úkrytů je faktor limitující rozšíření různých druhů v různých klimatických pásech (Fenton, 1970; Humphrey, 1975; Humphries et al., 2002; Broders a Forbes, 2004).

3.1. Význam mikroklimatu

Mikroklimatické charakteristiky úkrytů jsou mnohými autory považovány za významné faktory ovlivňující výběr úkrytové lokality (Kunz, 1982; Gardner et al., 1991; Cryan et al., 2001). Barclay a Kurta (2007) dokonce označují mikroklima úkrytu a jeho vliv na termoregulaci za primární faktor ovlivňující výběr úkrytu. Studie, které systematicky sledovaly mikroklimatické parametry různých typů úkrytů byly zaměřeny především na teplotu (Vonhof a Barclay, 1997; Kalcounis a Brigham, 1998; Hutchinson a Lacki, 2001; Smith a Racey, 2005; Willis a Brigham, 2005), případně na relativní vlhkost (Sedgeley, 2001) nebo rychlost proudění vzduchu (Willis a Brigham, 2005).

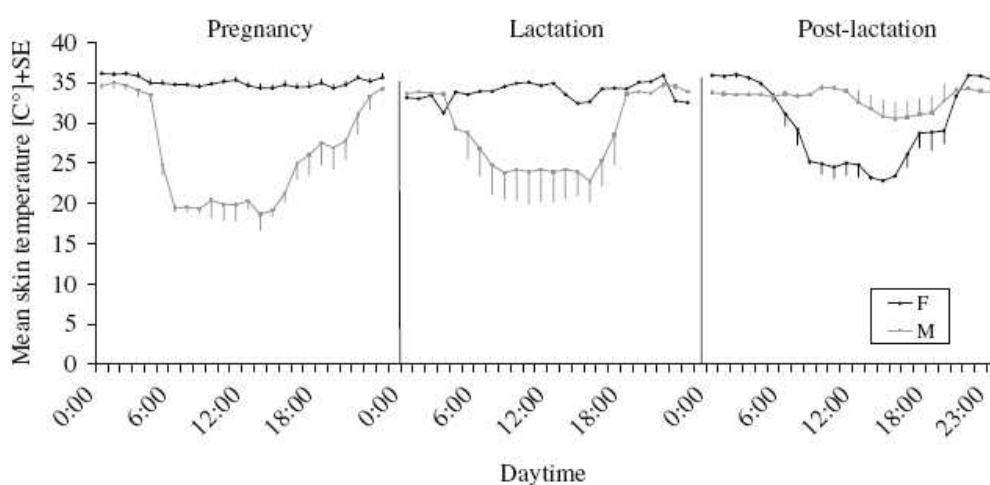
Řada druhů netopýrů využívá v průběhu roku více typů úkrytů. Variabilita používaných úkrytů naznačuje, že samotné strukturální charakteristiky nejsou při volbě úkrytu rozhodující, ale mohou mít významný vliv na mikroklimatické parametry (Sedgeley, 2001; Willis a Brigham, 2005). Například povrch a tloušťka stěny úkrytu spolu s expozicí vůči slunečnímu záření významně ovlivňují stupeň prohřátí úkrytu (Bakken a Kunz, 1988). Calder et al. (1983) také prokázali, že menší vstupní otvor může snížit ztráty tepla prouděním. Sasse a Pekins (1995), Vonhof (1995), Vonhof a Barclay (1996), Betts (1998) a Menzel et al. (1998) zjistili, že netopýři preferují vyšší stromy, což může být z důvodu snížení rizika predace nebo z termoregulačních důvodů. Podle Boonmana (2000) si řada dendrofilních druhů vybírá úkryty na okraji lesa, jelikož jsou více vystaveny slunečnímu záření a tudíž dosahují vyšších teplot. Je známo, že netopýři upřednostňují teplejší úkryty (Entwistle et al., 1997), které jim umožňují šetřit energii (Racey, 1973; Racey a Swift, 1981). Dalším důvodem vysvětlujícím výběr úkrytů na okraji lesa může být blízkost k potravnímu či vodnímu zdroji (Boonman, 2000). Některé studie také prokázaly významný vliv velikosti úkrytu a to zejména pro druhy vytvářející rozsáhlé kolonie a využívající výhod sociální termoregulace (Willis a Brigham, 2007).

Bylo zjištěno, že úkryty obydlené netopýry jsou teplejší než neobydlené (Kunz, 1982). V souladu s tímto tvrzením jsou i výsledky studie Ruczyňského (2006), při níž bylo prokázáno, že dutiny obývané netopýry stromovými (*Nyctalus leisleri*) a rezavými (*Nyctalus noctula*) jsou v průměru o 1,6 °C teplejší než neobývané. Podobné rozdíly byly pozorovány i u jiných typů úkrytů. Například budovy osídlené netopýrem ušatým (*Plecotus auritus*) byly v průměru o 1,2 °C teplejší než neosídlené (Entwistle et al., 1997). Dokonce i u neotropického druhu *Lophostoma silvicolum* pozoroval Dechmann et al. (2004), že tito zástupci přednostně obývají termiště, které je o 2,1 – 2,8 °C teplejší než neobývané.

Výběr úkrytu na základě teploty je výrazně ovlivňován měnícími se energetickými nároky během reprodukčního cyklu. Během březosti a laktace dochází u samic ke zvyšování energetických nároků, což je kompenzováno zvýšeným příjmem potravy (Kunz, 1974; Anthony a Kunz, 1977). Dostupnost potravy může ovlivnit načasování porodu (Arlettaz et al., 2001). Při nepřízni počasí (déšť, nízká okolní teplota) a nedostatku potravy netopýři žijící v mírném pásu upadají do torporu. Grinevitch et al. (1995) a Hamilton a Barclay (1994) obecně definovali torpor jako stav, při kterém teplota těla (T_b) poklesne pod aktivní teplotu (T_{ac}) a hluboký torpor jako pokles T_b pod T_{ac} nejméně o 10 °C. Bylo prokázáno, že již malé snížení tělesné teploty může mít za následek značnou úsporu energie (Studier, 1981; Webb et al., 1993).

Využití torporu má však i své nevýhody – zejména pro pregnantní a kojící samice, jelikož zpomaluje vývoj plodu, prodlužuje březost (Racey, 1973) a snižuje produkci mléka (Wilde et al., 1999). Většina samic se v tomto období torporu buď úplně vyhýbá nebo využívá krátkodobý mělký torpor (Dietz a Kalko, 2006). Kojící samice využívají torpor méně často než pregnantní a reprodukčně neaktivní samice (Chruszcz a Barclay, 2002), ačkoliv byly pozorovány výjimečné případy upadání do torporu i během laktace vlivem vysokých okolních teplot a ztrát vody produkcí mléka (Kurta et al., 1989; Chruszcz a Barclay, 2002). Zpoždění porodu nebo odstavení mláďat může být nevýhodné pro druhy žijící v mírném pásu, kde zkrácené období přípravy na hibernaci v důsledku zpoždění porodů může mít za následek zvýšenou mortalitu juvenilních jedinců během zimy (Kurta, 1986; Frick et al., 2009). Proto jsou samice zvláště v období březosti a laktace závislé na úkrytech s příznivým mikroklimatem, které minimalizuje energetické nároky nutné pro udržení vyšší teploty těla (Racey, 1973; Entwistle et al., 1997). Toto tvrzení je v souladu s výsledky studií, které potvrdily, že samice v období březosti a laktace preferují teplejší úkryty (Sedgeley, 2001; Lausen a Barclay, 2003).

Výzkum zaměřený na rozdílné termoregulační chování samců a samic netopýra vodního (*Myotis daubentonii*) v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu odhalil, že samice udržují vyšší teplotu těla během březosti a laktace, zatímco v postlaktančním období preferují hluboký torpor. Opačně je tomu u samců, kteří v období březosti a laktace nejsou reprodukčně aktivní a proto častěji upadají do torporu (obr. 2, Dietz a Kalko, 2006). Ke konci léta (postlaktanční období) s nástupem spermatogeneze je využití torporu minimalizováno, jelikož snížení tělesné teploty by znamenalo zpomalení procesu tvorby spermií (Reeder a Cowles, 1951; Enwistle et al., 1998).



Obr. 2: Průměrná kožní teplota samců a samic netopýra vodního (*Myotis daubentonii*) během různých období reprodukčního cyklu (převzato od Dietze a Kalko, 2006).

3.2. Typy úkrytů a teplotní preference v období mimo hibernaci

Netopýři tráví v úkrytech velkou část svého života a výběr úkrytu či místa, kde stráví především světlou část dne, je pro ně velmi důležitý. Úkryt je chrání před predátory a nepříznivým počasím a také jim poskytuje optimální mikroklima. Výběr různých typů úkrytů s rozdílným mikroklimatem souvisí s teplotní preferencí daného druhu a s měnícími se energetickými nároky v průběhu roku.

Pro netopýry mírného i tropického pásu jsou jedním z nejvýznamnějších úkrytů stromové dutiny (Kunz a Lumsden, 2003). Většina druhů si stromové úkryty vybírá na základě určitých strukturálních parametrů, které ale s největší pravděpodobností odrážejí i jejich mikroklima. Dutiny využívané mateřskými koloniemi jsou dobře izolovány od teplotních extrémů okolního prostředí a vykazují jen nepatrné kolísání teploty a vlhkosti

v porovnání s okolními podmínkami. Obecně jsou stromové dutiny nebo úkryty pod odchlípnutou kůrou během dne chladnější a v noci teplejší oproti okolním podmínkám (Alder, 1994; Hosken, 1996; Turbill, 1999; Sedgeley, 2001).

Prostor pod odchlípnutou stromovou kůrou poskytuje většině druhů netopýrů pouze dočasný úkryt (Barclay a Kurta, 2007). Nejsou známy druhy, které by sídlily výhradně pod kůrou stromů (Kunz a Lumsden, 2003). Tento typ úkrytu poskytuje poněkud rozdílné teplotní charakteristiky než stromové dutiny a obvykle je méně teplotně stabilní (Crampton a Barclay, 1998). Mikroklima zde může být ovlivněno izolačními vlastnostmi kůry (Nicolai, 1986), velikostí stromu a expozicí vůči slunečnímu záření (Kurta et al., 1996; Vonhof a Barclay, 1997). Kurta et al. (1996), Vonhof a Barclay (1997) ve svých studiích prokázali, že netopýři obecně preferují úkryty, které jsou teplotně stabilnější.

Hojně zastoupenými dendrofilními druhy v Evropě jsou netopýr vodní (*Myotis daubentonii*) a netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*). Oba druhy si vybírají podobné či dokonce stejné stromové dutiny, ve kterých mohou tvořit smíšené kolonie i po dobu několika let (Lučan et al., 2009).

V posledních letech stále více druhů netopýrů obývá antropogenní úkryty jako jsou budovy, mosty, sklepy či jiné zděné úkryty. Některé druhy obývají v určitých oblastech výhradně člověkem vytvořené úkryty (např. netopýr hvízdavý *Pipistrellus pipistrellus* - Thompson, 1992; netopýr ušatý *Plecotus auritus* - Entwistle et al., 1997). Některé studie naznačily, že umělé úkryty mohou netopýrům poskytovat výhodnější mikroklima a větší prostor pro početnější kolonie než stromové dutiny (Lausen a Barclay, 2006). Umělé úkryty, zejména budovy, jsou využívány hlavně mateřskými koloniemi (Kunz, 1982; Kunz a Lumsden, 2003), jelikož vysoké teploty umožňují samicím v období březosti a laktace udržovat vyšší T_b bez větších energetických ztrát a zároveň urychlují vývoj a růst mláďat (Speakman a Racey, 1987; Zahn, 1999; Racey a Entwistle, 2000; Sedgeley, 2001; Kerth et al., 2001; Lausen a Barclay, 2006). Budovy během noci velice dobře udržují teplo naakumulované v průběhu dne, což se zdá být výhodné pro mladé netopýry, kteří ještě nemají dokonale vyvinutou schopnost termoregulace (Kunz, 1987).

Obývání budov může mít ovšem i některé nevýhody. Jednou z nich je možné větší riziko parazitace způsobené větším počtem netopýrů, druhou, že zde netopýři musí častěji čelit teplotnímu stresu, způsobeného vysokými teplotami během horkých letních dnů (Licht a Leitner, 1967; Smith a Racey, 2005). Třetí nevýhodou může být větší kolísání teplot a s tím spojená častější potřeba střídat úkryty. Lourenco a Palmeirim (2004) pozorovali u členů mateřské kolonie netopýra nejmenšího (*Pipistrellus pygmaeus*), že se výrazně vyhýbali

teplotám nad 40 °C, což naznačuje, že hodnota 40 °C je horní limit termoneutrální zóny tohoto druhu. Nyholm (1965) pozoroval, že netopýr vousatý (*Myotis mystacinus*) v podkroví vyhledával místa s teplotou 48 °C. Vrápenec malý (*Rhinolophus hipposideros*) pravděpodobně preferuje vyšší teploty než jiné středoevropské druhy obývající budovy, jelikož byl často pozorován v místech s teplotou mezi 30 až 34 °C, což je teplota, která není tolerována ani netopýrem velkým (*Myotis myotis*) ani netopýrem brvitým (*Myotis emarginatus*) (Güttinger et al., 2000; Zahn a Henatsch, 1998; Weiner a Zahn, 2000).

Celkově většina umělých úkrytů původně jeskynních druhů, jako *Myotis myotis*, *Myotis emarginatus* nebo *Rhinolophus hipposideros*, dosahuje vyšších teplot a vykazuje jejich větší kolísání (Richarz et al., 1989; Zahn a Henatsch, 1998; Weiner a Zahn, 2000; Zahn a Kayikcioglu, 2004; Sekerdieck et al., 2005) než původní úkryty v jeskyních. Naproti tomu byly naměřeny obdobné průměrné teploty a denní teplotní fluktuace v umělém úkrytu původně stromových druhů netopýrů *Myotis nattereri* (Smith a Racey, 2005), *Nyctalus noctula* (Bihari, 2004) a *Plecotus auritus* (Entwistle et al., 1997). Netopýr vodní (*Myotis daubentonii*), obvykle obývajících stromové dutiny, byl pozorován v úkrytech společně s netopýrem rezavým (*Nyctalus noctula*) a netopýrem řasnatým (*Myotis nattereri*) (Červený a Bürger, 1989; Encarnacao et al., 2005; Kaňuch, 2005; Lučan et al., 2009), z čehož lze usuzovat, že si tyto druhy vybírají úkryty s obdobným mikroklimatem.

Alternativním typem úkrytu pro řadu druhů mohou být podle Brittingham a Williams (2000) netopýří budky, které pokud jsou vhodně konstruovány a umístěny mohou hrát významnou roli zejména v oblastech s nedostatkem přirozených úkrytů či v případech přemísťování mateřských kolonií v souvislosti s nutností destrukce původního úkrytu (např. při rekonstrukci budov či mostů). Netopýr velkouchý (*Myotis bechsteinii*) je evropským druhem, který v létě přirozeně obývá stromové dutiny, ale využívá i ptačí či netopýří budky (Schlapp, 1990; Kerth a König, 1996, 1999). Kerth et al. (2001) dále zjistili, že samice *M. bechsteinii* preferují stromové dutiny na jaře a na podzim, zatímco v létě, v období březosti a laktace, upřednostňují tmavě nabarvené budky, což naznačuje, že výběr úkrytu tohoto druhu je výrazně ovlivňován okolní teplotou.

3.3. Střídání úkrytů – příčiny a důsledky

Mnoho druhů, zejména dendrofilních netopýrů, střídá během léta své úkryty přibližně každé 2-3 dny, přičemž zůstávají věrni určité oblasti a opakovaně využívají určité stromové dutiny během roku i v průběhu několika let (Kalcounis a Brigham, 1998; Willis a Brigham,

2004). Co je hlavní motivací střídání úkrytů a proč je kolonie rozptýlena do několika úkrytů zatím není spolehlivě objasněno (Lewis, 1995; Vonhof a Barclay, 1996). Mnoho autorů se shoduje na tom, že střídání úkrytů je mechanismus, kterým se netopýři vyhýbají predátorům (Lausen a Barclay, 2002), snižují riziko parazitace (Wolz, 1986; Lewis, 1995) a v neposlední řadě si vybírají místa s optimálním mikroklimatem (Kerth et al., 2001; Lourenco a Palmeirim, 2004). Například samice netopýra velkouchého (*Myotis bechsteinii*) mění svůj denní úkryt (stromová dutina, netopýří budka) průměrně každé 2-3 dny a celá kolonie využívá až 50 různých úkrytů (některé z nich opakovaně) v průběhu jedné sezóny (Kerth a König, 1999; Kerth a Morf, 2004). Laufens (1973) a Smith (2000) pozorovali, že netopýr řasnatý (*Myotis nattereri*) střídá v průběhu roku mnoho rozmanitých úkrytů (stromové dutiny, staré budovy, jeskyně). Zajímavé výsledky přinesly studie zaměřené na netopýra hvízdavého (*Pipistrellus pipistrellus*). Gerell a Lundberg (1985) svými pokusy ve Švédsku prokázali, že tento druh využíval opakovaně netopýří budku po dobu tří let a Thompson (1992) ve své studii prováděné v Anglii pozoroval osídlení budovy tímto druhem po dobu více než jedenácti let. Také Entwistle (1994) potvrdila, že netopýr ušatý (*Plecotus auritus*) zůstává po dlouhou dobu věrný budovám, které obývá. Důvodem dlouhodobého a opakovaného využívání budov je zřejmě fakt, že tento typ úkrytu poskytuje netopýřům stabilně příznivé podmínky.

3.4. Termoregulace

Netopýři jsou z fyziologického hlediska zajímavým termoregulačním modelem, jelikož představují zcela specifickou skupinu mezi homoiotermními organismy – jsou tzv. heterotermní. To znamená, že jsou jednak schopni aktivně snížit tělesnou teplotu na teplotu prostředí (při hibernaci) a jednak si udržovat vysokou tělní teplotu (při aktivitě). Termoregulační schopnost netopýřů se na první pohled může zdát značně nedokonalá. Netopýři neudržují ani relativně stálou tělesnou teplotu a metabolismus, jakmile upadnou do spánkové strnulosti (torporu). Tato vlastnost však u nich není znakem primitivnosti, jak se v minulosti předpokládalo (Eisentraut, 1934, 1938; Hock, 1951; Herreid, 1963), ale je naopak znakem dokonalé adaptace na podmínky prostředí.

Tropické skupiny netopýřů, na rozdíl od temperátních druhů, udržují relativně stálou tělesnou teplotu a předpokládá se, že torpor využívají jen zřídka (Riek et al., 2010). Burbank a Young (1934) a Bartholomew et al. (1964) pozorovali, že již při malém poklesu okolní teploty pod zónu termoneutrality zapojovali zástupci rodu *Pteropus* termoregulační mechanismy (zejména svalový třes) vedoucí k udržení stálé T_b .

Způsob života netopýrů je energeticky velice náročný, což je za prvé způsobeno velkým výdejem energie během letu a za druhé relativně velkým povrchem těla vzhledem k jejich hmotnosti, což má za normotermního stavu za následek značné ztráty tepla (McNab, 1982). Jakmile netopýři přestanou lovit, snaží se minimalizovat energetické ztráty setrváním v termoneutrální zóně (TNZ). Termoneutrální zónu chápeme jako rozsah okolních teplot, při kterých zvíře nemusí aktivně regulovat svou tělesnou teplotu (Speakman a Thomas, 2003). Jak již bylo zmíněno výše jsou netopýři heterotermní živočichové a v době nepříznivých podmínek (chladno, nedostatek potravy) upadají do torporu (McNab, 1982; Audet a Fenton, 1988; Turbill et al., 2003), v zimě potom do hibernace. Z tohoto hlediska má denní torpor stejnou funkci jako zimní spánek s tím rozdílem, že při torporu nedochází k tak prudkému poklesu T_b a metabolismu jako při hibernaci.

Není překvapivé, že zóna termoneutrality u savců je rozmezí teplot lišící se v závislosti na druhu živočicha a na klimatických podmínkách, ve kterých žije (Garland a Adolph, 1991). Živočichové, kteří jsou nuceni v průběhu roku čelit nízkým okolním teplotám, vykazují vyšší hodnoty basálního metabolismu (BMR)*, zatímco živočichové běžně pobývajících v teplotách spadajících do jejich TNZ snižují svůj BMR, aby se vyhnuli teplotnímu stresu (Bartholomew et al., 1962; Rodríguez-Durán, 1994). Rozsah TNZ a s tím související hodnota BMR u hmyzožravých netopýrů je ovlivňována klimatickými faktory a zejména teplotními poměry v úkrytu, ačkoliv důležitou roli zde hraje i dostupnost vody a potravy (Bonaccorso et al., 1992), případně reprodukční status jedince. Kurta a Kunz (1987) pozorovali zvýšení BMR u březích samic netopýra hnědavého (*Myotis lucifugus*) v porovnání s reprodukčně neaktivními jedinci. Podobné výsledky prezentovali McLean a Speakman (2000), kteří pozorovali, že BMR netopýra ušatého (*Plecotus auritus*) byl během březosti a laktace téměř dvojnásobně zvýšen oproti reprodukčně neaktivním jedincům.

Pozn.: BMR – basální metabolismus chápeme jako rychlost metabolismu za standartních podmínek: v termoneutrální zóně, za úplného tělesného a duševního klidu.

3.5. Sociální termoregulace

Shlukování během období páření a vytváření mateřských kolonií je nejvýraznějším fenoménem sociální organizace netopýrů, žijících v mírném pásu (obr.3, Kunz, 1982; Zubaid et al., 2006). Mateřské kolonie jsou vytvářeny reprodukčně aktivními samicemi a poskytují jim během březosti a laktace výhody plynoucí ze sociální termoregulace (Zubaid et al., 2006). Naopak výskyt samčích kolonií je mnohem vzácnější a faktory ovlivňující jejich agregaci zatím nejsou zcela objasněny (Safi a Kerth, 2007).

Vytváření kolonií přináší netopýrům řadu výhod. Za prvé, menší povrch klastru má za následek pomalejší ztráty tepla a za druhé, teplo vytvářené kolonií může zvýšit teplotu úkrytu až o několik stupňů (Contreras, 1984; Canals et al., 1989). Důsledkem těchto výhod jsou potom značné úspory energie všech členů kolonie. Willis a Brigham (2007) spočítali, že normotermní jedinec, pobývajících v kolonii, ušetří průměrně 6,5 kJ/den (zhruba 9 % denních energetických nároků) oproti situaci, kdy hnízdí sám, a že energetická úspora jednotlivce, v kolonii čítající 45 jedinců, může dosáhnout až 40 kJ/den (zhruba 53 % denních energetických nároků). Willis a Brigham (2007) dále zjistili pozitivní korelaci mezi počtem netopýrů obývajících úkryt, maximální denní teplotou v úkrytu a energetickou úsporou. U dendrofilních druhů byl navíc prokázán pozitivní vztah mezi velikostí kolonie a velikostí dutiny (Willis et al., 2006). Výše uvedené naznačuje, že pro mnoho druhů netopýrů, obývajících dutiny, mohou být při výběru úkrytu více významné výhody plynoucí ze sociální termoregulace než výhody spojené s rozdílným mikroklimatem v jednotlivých dutinách (Willis a Brigham, 2007).

A



B



Obr. 3: A – letní kolonie netopýra velkého (*Myotis myotis*), (www.ceson.org/monitoring.php)

B – kolonie n. rezavého (*Nyctalus noctula*), (www.prazskestezky.cz/vinor/v04.html)

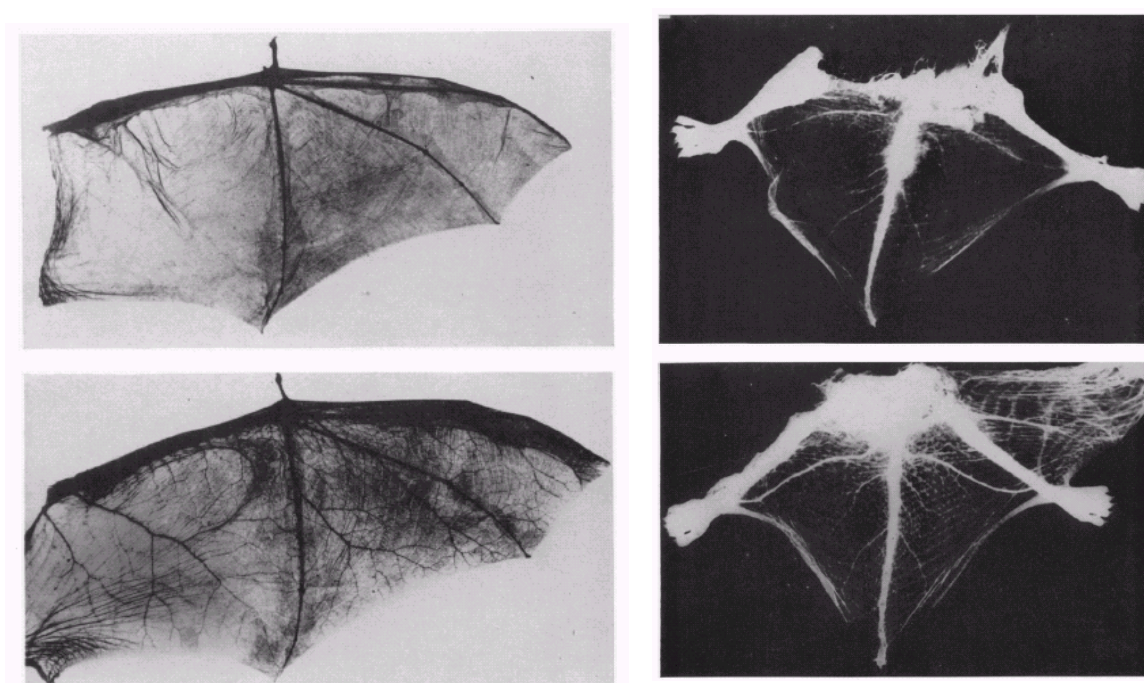
3.6. Vliv vysokých teplot na termoregulaci

Netopýři se vyskytují ve většině klimatických zón na Zemi, z čehož mimo jiné vyplývá, že disponují značnou adaptabilitou na různé teplotní podmínky. Většina fyziologických studií zabývajících se v minulosti termoregulací netopýřů byla zaměřena na fyziologickou odpověď při nízkých teplotách. Podobně ekologické studie zdůrazňovaly význam okolních podmínek souvisejících s denním torporem a hibernací. Zatím málo je toho však známo o reakcích netopýřů vůči vysokým teplotám. Některé studie naznačují, že tolerance k vysokým teplotám by mohla řadit netopýře na výjimečnou pozici mezi savci (Licht a Leitner, 1967; Bronner et al., 1999).

Netopýři bývají obzvláště v létě často vystaveni extrémně vysokým teplotám. Licht a Leitner (1967) zaznamenali, že se druhy *Myotis yumanensis*, *Antrozous pallidus* a *Tadarida brasiliensis* ve volné přírodě vyhýbaly ve svém úkrytu místům, kde teplota dosahovala 40 °C, ale tolerovali teploty okolo 35–38 °C. Pokud byli netopýři v zajetí vystaveni vysokým T_{amb} vykazovali stresovou odpověď – při teplotě 40 °C došlo k překrvení křídel, při teplotě 41,5–42 °C dýchali s otevřenou tlamou a nakonec při teplotě 42 °C si mohutně olizovali srst. Teplota těla, kterou netopýři mohou tolerovat aniž by byli ohroženi na životě není výjimečná v porovnání s ostatními malými savci. Speakman et al. (1994) zhodnotili dostupná data, týkající se letálních teplot u různých druhů netopýřů a zjistili, že nejnižší letální T_b (po 1 hodinové expozici) dosahovala průměrně 42,1 °C a nejvyšší ne-letální T_b (po 1 hodinové expozici) dosahovala průměrně 41,3 °C. Navzdory skutečnosti, že letální T_b není výjimečná v porovnání s ostatními malými savci (Adolph, 1947), mnoho studií zaznamenalo obdivuhodnou toleranci netopýřů vůči vysokým T_{amb} (Bronner et al., 1999). Tato tolerance zřejmě vyplývá ze schopnosti netopýřů regulovat svou T_b tak, aby zabránili přehřátí a nadměrným ztrátám vody.

Schopnost snášet vysoké teploty není u všech druhů netopýřů stejná. Mnoho jeskynních druhů jako například zástupci rodu *Macroderma* a *Rousettus* netolerují teploty nad 38 °C (Kulzer, 1963), a rod *Desmodus* snáší jen velice krátkodobě teploty nad 33–34 °C (Lyman a Wimsatt, 1966). Zdá se, že druhy obývající tropy a subtropy mají, na rozdíl od druhů schopných hibernace, užší rozmezí teplot, které jsou ochotni tolerovat. Hibernující druhy mají schopnost během zimního spánku aktivně snížit svou T_b až na teplotu blízkou 0 °C a zároveň během léta tolerují velmi vysoké T_{amb} . Vůbec nejvyšší naměřená T_{amb} u hibernujících druhů netopýřů byla 55 °C (Davis, 1963).

Netopýři zabraňují hypertermii několika způsoby. Kromě toho, že na vysoké okolní teploty reagují behaviorálně (přesun na místa s nižší teplotou, zvětšování rozestupů mezi jedinci) (Licht a Leitner, 1967; Maloney et al., 1999), mají také řadu účinných mechanismů ochlazování. Vedle evaporativních ztrát tepla zrychleným dýcháním a odpařováním slin ze srsti, jsou pro netopýry z hlediska termoregulace velice významné oblasti těla nekryté srstí - křídelní blány, uropatagium a uši. Všechny tyto části jsou bohatě protkány jemnými kapilárami, které jsou uloženy blízko povrchu těla a obsahují četné prekapilární svěrače, umožňující velice účinnou vasomotoriku (Reeder a Cowles, 1951). U některých druhů bylo pozorováno roztahování a mávání křídel jako mechanismus zajišťující zvýšené proudění vzduchu kolem bohatě prokrvených létacích blan (Robinson a Morrison, 1957; Bartholomew et al., 1964). Regulace průtoku krve křídelní a ocasní blánou za různých okolních teplot je zřejmá z obr. 4.



Obr. 4: Horní obrázky představují prokrvení křídla a ocasní blány (*Myotis yumanensis*) v klidovém stavu při rektální teplotě do 39 °C. Dolní obrázky představují prokrvení křídla a ocasní blány (*Myotis yumanensis*) při rektální teplotě okolo 41 °C (Reeder a Cowles, 1951).

4. MATERIÁL A METODIKA

4.1. Charakteristika studované oblasti

Měření mikroklimatických parametrů úkrytů se uskutečnila v severní části Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervace Třeboňsko. Ta se nachází v jihovýchodní části jižních Čech mezi městy Veselí nad Lužnicí a České Velenice při česko-rakouské hranici a zaujímá podstatnou část geomorfologického celku Třeboňské pánve. Jedná se o krajinářsky velmi jednotný a dobře charakterizovaný celek s poměrně plochým pahorkatinným reliéfem v nadmořské výšce 410 – 550 m. Celá oblast patří k mírně teplým a srážkově spíše nadprůměrným územím.

Z hlediska výzkumu netopýrů je podstatná značná členitost a rozmanitost zkoumaného území, kde se udržuje poměrně bohatá mosaika nejrůznějších biotopů, v nichž převládají enklávy smíšených lesních porostů (nejčastěji dub, borovice a smrk; 43 % území) a značná je i rozloha podmáčených a vlhkých luk, rašelinišť a slatinišť. Naproti tomu plocha zemědělsky obhospodařovaných půd je trvale relativně nízká (28 %). Velmi významným faktorem utváření Třeboňské krajiny, který jí dává zcela specifický charakter, je vysoké zastoupení vodních ploch (14,6 %) (Hátle, 1996). Právě tato místa na sebe vážou mosaiku rozptýlené zeleně, zejména věkovitých dubů, ale také hospodářských staveb a v poslední době i početné chatové kolonie, které se staly zdrojem úkrytů především pro štěrbínové druhy netopýrů.

To vše činí z Třeboňska ideální krajinu pro výskyt netopýrů, na čemž se podílí jak široká škála potenciálních úkrytů, tak zejména bohatá nabídka hmyzí potravy. Významnějším faktorem, který může mít mnohem zásadnější vliv na menší početnost a rozmanitost netopýří fauny Třeboňska, je prakticky naprostý nedostatek podzemních úkrytů (jeskyně, štoly, větší sklepy) (Hanák a kol., 2006).



Obr. 5: Krajina CHKO Třeboňsko (www.trebonsko.ochranaprirody.cz)

4.2. Metodika měření

Experiment č. 1: Srovnání teplotních profilů různých typů úkrytů dendrofilních druhů netopýrů

Teplotní datalogery (Tinytalk TK0063) byly v červenci 2009 umístěny do 3 různých typů netopýřích úkrytů v modelové studijní ploše v severní části CHKO Třeboňsko:

- 1) stará vápenka – umělý úkryt, cihlovo-kamenná stavba o velikosti 5x4x3 m, tloušťka stěn zhruba 1 m; nachází se zde mnoho různě velikých štěrbin, z nichž největší (cca 20x20x60 cm) je dlouhodobě (přes 40 let) osídlena mateřskou kolonií *Myotis daubentonii*, čítající až 200 jedinců
- 2) stromová dutina osídlená kolonií *Myotis daubentonii*
- 3) dřevěné okenice na osamělém stavení v lese – zde datalogery umístěny za 3 různé okenice situované na různé světové strany za účelem srovnání vlivu pozice vůči světovým stranám na mikroklima úkrytu; okenice situovaná na východ byla v době instalace dataloggeru osídlena kolonií *Myotis brandtii*, okenice situovaná k jihu byla osídlena částí kolonie *Myotis brandtii* a *Pipistrellus pygmaeus* a jednotlivým samcem *Myotis mystacinus*, okenice situovaná na sever nebyla netopýry osídlena

Datalogery byly umístěny tak, aby nebyly v přímém kontaktu s netopýry a byly z dosahu přímého slunečního záření. Teplota byla zaznamenávána každou hodinu.

Pro statistické analýzy bylo vybráno období 20. – 26.7. 2009. Srovnávány byly následující parametry:

T_{\min} – minimální denní teplota (minimální teplota dosažená během 24 hodin)

T_{\max} – maximální denní teplota (maximální teplota dosažená během 24 hodin)

T_{mean} – průměrná denní teplota (teplotní průměr za 24 hodin)

T_{amp} – denní teplotní amplituda (rozdíl $T_{\max} - T_{\min}$)

Experiment č. 2: Srovnání teplotních parametrů umělého a přirozeného úkrytu dendrofilního netopýra *Myotis daubentonii* v různých obdobích jeho reprodukčního cyklu

Při analýzách jsme využili potenciálu možnosti srovnat mikroklima ve 4 obdobích, jediným omezením bylo, že pro období březosti nebyly k dispozici data pro neobsazené dutiny. Ve 4 obdobích reprodukčního cyklu netopýrů (období březosti: 10. 5. – 10. 6., období laktace: 11. 6. – 10. 7., období postlaktací: 11. 7. – 15. 8. a období podzimních přeletů 16. 8. – konec září; podle Lučana 2006) byly v r. 2006 instalovány teplotní datalogery do 3 typů úkrytů:

- 1) stará vápenka obývaná dlouhodobě mateřskou kolonií *Myotis daubentonii*
- 2) stromové dutiny obsazené kolonií *Myotis daubentonii*
- 3) stromové dutiny neobsazené netopýry

Počet sledovaných úkrytů nebyl ve všech obdobích stejný:

období březosti: vápenka, 1 obsazená dutina, 0 neobsazených dutin

období laktace: vápenka, 1 obsazená dutina, 3 neobsazené dutiny

období postlaktací: vápenka, 2 obsazené dutiny, 1 neobsazená dutina

období podzimních přeletů: vápenka, 2 obsazené dutiny, 1 neobsazená dutina

Datalogery byly umístěny tak, aby nedošlo k přímému kontaktu čidla s netopýry a aby nebyly vystaveny přímému slunečnímu záření. Teplota byla zaznamenávána každých 30 minut.

Pro analýzy byla vždy použita data ze tří po sobě jdoucích dnů v každém období:

- březost: 22. – 24. 5. 2006
- laktace: 20. – 22. 6. 2006
- postlaktace: 3. – 5. 8. 2006
- podzimní přelety: 16. – 18. 8. 2006

Srovnávány byly následující parametry:

T_{\min} – minimální denní teplota (minimální teplota dosažená během 24 hodin)

T_{\max} – maximální denní teplota (maximální teplota dosažená během 24 hodin)

T_{mean} – průměrná denní teplota (teplotní průměr za 24 hodin)

T_{amp} – denní teplotní amplituda (rozdíl $T_{\max} - T_{\min}$)

Experiment č. 3: Zhodnocení vlivu různých okolních teplot na velikost energetické přeměny u netopýra večerního (*E. serotinus*) a netopýra rezavého (*N. noctula*)

Měření metabolismu

Pro kvantitativní posouzení velikosti celkové látkové přeměny v živočišném organismu je nutno vycházet z faktu, že veškeré změny, ke kterým zde dochází, jsou energetické povahy. Jediným zdrojem energie, kterou dovede živočišný organismus využít je chemická energie živin. Energeticky bohaté fosfátové vazby, které vznikají na účet energie uvolněné oxidací živin, jsou tedy universálním mobilním zdrojem energie pro veškeré životní pochody. Konečnou formou všech dalších přeměn je vždy energie tepelná, uvolněná ve formě tepla.

Jedním ze způsobů, jak tuto celkovou energetickou přeměnu, neboli celkový metabolismus, stanovit je tedy měření tepla, které organismus vydává do okolí. Tato metoda se označuje jako přímá kalorimetrie. U převážné většiny živočichů se prakticky veškerá energie uvolňuje při oxidačních dějích, takže množství spotřebovaného kyslíku, příp. uvolněného oxidu uhličitého je pak ekvivalentní vzniklému množství tepla. Této skutečnosti jsme využili při stanovení celkového metabolismu tzv. nepřímou kalorimetrií i v našem měření. Pro naše účely jsme použili termomagnetický kyslíkový analyzátor Spirolyt II (obr. 6), jehož termomagnetická sekce umožňuje měření spotřeby O_2 , zatímco CO_2 je měřen na principu tepelné vodivosti (Vybíral, 1972).

Výpočet:

Z procentuálního úbytku kyslíku, který ze záznamu snadno odečteme pomocí kalibrovaných pravítek je další výpočet prováděn podle vztahu:

$$\text{metabolismus [ml } O_2/\text{g/h]} = \frac{\% O_2 * \text{průtok vzduchu} * f}{\text{hmotnost} * 100}$$

Aby získané výsledky spotřeby kyslíku (příp. přírůstku oxidu uhličitého) byly srovnatelné s hodnotami naměřenými za různých tlakových a teplotních podmínek, provádíme přepočet na standartní podmínky, tj. 1013 hPa a 0 °C.

f.....faktor pro přepočtení objemu O_2 na standartní podmínky

Charakteristika pokusných jedinců

Měření byla prováděna na handicapovaných jedincích dvou druhů netopýrů – netopýr večerní (*Eptesicus serotinus*) a netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*). Všechna zvířata byla přivyklá na manipulaci a tudíž nám tento model umožnil minimalizovat vliv stresu na sledovaný parametr. K dispozici jsme měli 3 samice netopýra rezavého a 3 samce netopýra večerního, přičemž veškerá měření byla realizována vždy pro každý druh zvlášť. Považuji za důležité zde zmínit také další informace o tomto unikátním experimentálním objektu.

Netopýr rezavý (*Nyctalus noctula*):

samice č.1 – nalezena jako mládě v srpnu 2004 v Praze, chybí kousek křídla => neschopnost letu

samice č. 2 – nalezena jako dospělec v říjnu 2004 v Praze, polámané prsty na křídle => neschopnost letu

samice č. 3 – nalezena jako dospělec v červnu 2007 v kempu v Lednici na Moravě, chybí kus létací blány => neschopnost letu

Všechny 3 samice jsou chovány pohromadě v bedně cca 120x80x60 cm, umístěné v bývalém chlívků před rodinným domem. Teploty v tomto prostředí jsou závislé na okolních teplotách a pohybují se během léta cca mezi 10 – 30 °C (většinou však mezi 15 – 25 °C). Při teplotách nižších než 10 °C jsou netopýři chováni v domě při pokojové teplotě. Během dne, kdy nejsou rušeni, upadají, dle svých přirozených biorytmů, do strnulosti. Krmení jsou jednou denně večer moučnými červy se směsí vitamínů Roboran H, Vitamix, vápník a vitamín C, vodu mají k dispozici ad libitum. Všechny samice, pokud jsou zdravé, také pravidelně zimují a to přibližně od konce listopadu do konce března (dle počasí). Při zimování mají přístup k vodě i k potravě a teplota okolí je udržována v rozmezí 3 – 10 °C.

Netopýr večerní (*Eptesicus serotinus*):

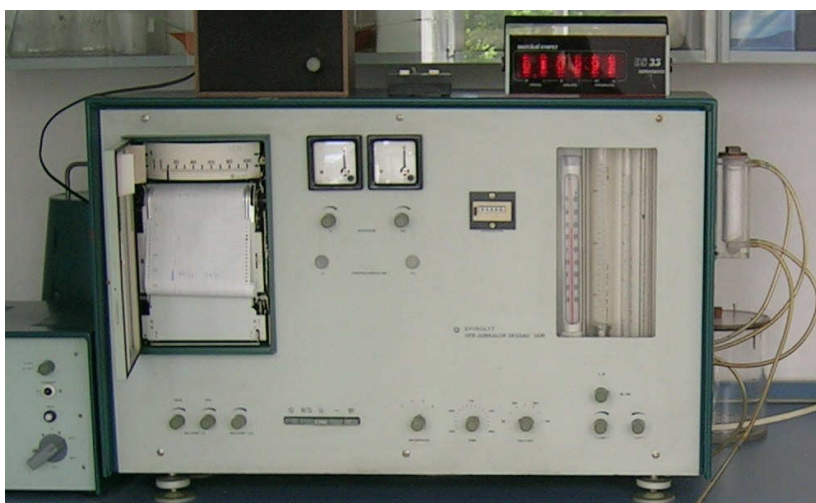
samec č.1 – nalezen jako mládě v květnu 2008 v Kladně, bez fyzického handicapu => schopnost letu

samec č. 2 – nalezen jako dospělec v srpnu 2007 v Praze, chybí kus létací blány => neschopnost letu

samec č. 3 – nalezen jako dospělec v březnu 2009 v Praze, omezeně pohyblivý kotník, nenatáhne jedno křídlo (možná poškozená inervace prstů) => neschopnost letu

Všichni 3 samci jsou chováni v bytě v panelovém domě, při pokojové teplotě 20 – 22 °C. Během dne, pokud nejsou rušeni, upadají do strnulosti. Krmení jsou jedenkrát denně večer po setmění moučnými červy se směsí vitamínů, vodu mají k dispozici ad libitum. Všichni jedinci, pokud jsou v dobré kondici, pravidelně zimují přibližně od konce listopadu do začátku března (dle počasí). Během zimování mají přístup k vodě i k potravě a teplota okolí se pohybuje v rozmezí 3 – 10 °C.

Měření v laboratoři bylo prováděno v období 12. 5. – 11. 8. 2010. Experimentální zvířata byla mezi jednotlivými pokusy držena v plastových přepravkách při pokojové teplotě cca 25 °C. Minimálně 12 hodin před každým měřením byl netopýrům odepřen přístup k potravě (vodu měli k dispozici ad libitum) a bezprostředně před pokusem byl každý jedinec zvážen. Měření probíhala ,podle slunečního času, v denní době mezi 12:00 – 17:00 hodinou s ohledem na přirozené biorytmy netopýrů. Velikost metabolismu, která je dána spotřebou kyslíku, byla měřena v rozmezí teplot 26–43 °C, což jsou hodnoty naměřené v netopýřích úkrytech v terénu. Abychom při těchto experimentech navodili podmínky, které by se co nejvíce podobaly přirozenému prostředí, umísťovali jsme štěrbínový druh *E. serotinus* za malou, námi vyrobenou, okenici a dendrofilní druh *N. noctula* do dutého pařezu. Okenice i pařez byly uzavřeny v igelitovém obalu a tím vytvořena jakási primitivní metabolická komora napojená na kyslíkový analyzátor. Průtok vzduchu byl nastavován, v závislosti na hmotnosti zvířat, v rozmezí 10 – 30 l/hod. Pro zachování přirozených podmínek jsme měření přednostně prováděli na celé „kolonii“, čítající 3 jedince. Všechny naše experimenty trvaly krátce (doba měření nepřesáhla 3 hodiny) a netopýři byli z „metabolické komory“ vyjmuti po té, jakmile jejich spotřeba kyslíku byla ustálena nejméně po dobu 10 minut. Všichni pokusní jedinci byli měřeni vždy jen jedenkrát za den a vysokým teplotám blížícím se 43 °C byli vystaveni jen po dobu několika málo minut.



Obr. 6: Kyslíkový analyzátor Spirolyt II.

4.3. Statistické zpracování dat

Experiment č. 1

Vzhledem ke splnění podmínek normality distribuce dat pro většinu proměnných byla srovnání provedena pomocí jednocestné analýzy variance (ANOVA). K porovnání rozdílů mezi jednotlivými úkryty byl použit Tukey HSD test.

Experiment č. 2

Data byla analyzována pomocí hierarchické analýzy variance. Pro mnohonásobná porovnání byl použit Tukey HSD test.

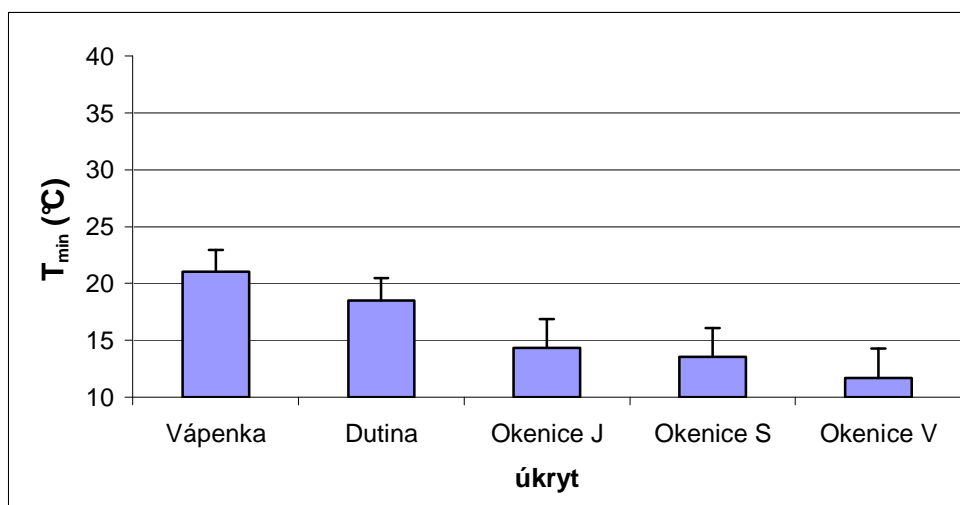
V průběhu statistického zpracování dat bylo využito statistických funkcí programu MS Excel 2002 a analýzy provedeny pomocí statistického softwaru STATISTICA 8.0. Všechny výsledky byly vyjádřeny jako průměr \pm SD, příp. SE. Výsledky s hodnotou pravděpodobnosti $p \leq 0,05$ jsou považovány za statisticky významné.

5. VÝSLEDKY

5.1. Teplotní profil různých typů úkrytů dendrofilních druhů netopýrů

Data byla získána v období 20.–26. 7. 2009. Hodnoty sledovaných parametrů (T_{\min} , T_{\max} , T_{mean} , T_{ampl}) jsou uvedeny v tabulkách č. 1-4 a graficky znázorněny v grafech č. 1 – 4. Graf č. 5 prezentuje denní průběh teplot v jednotlivých úkrytech.

Graf č. 1: Průměrné minimální denní teploty v jednotlivých úkrytech



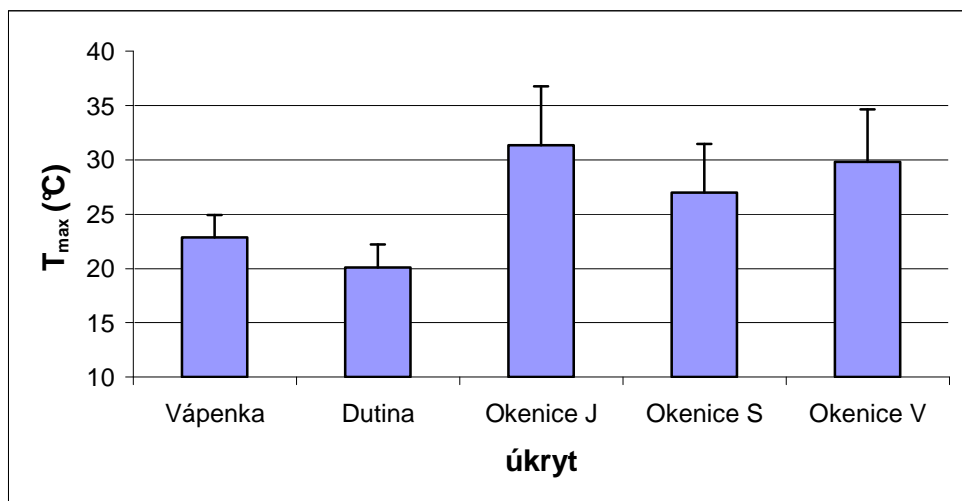
Tab č. 1: Průměrné minimální denní teploty v jednotlivých úkrytech

Úkryt	n	T_{\min}	SD
Celkem	35	15,8	4,1
Vápenka	7	21,0	1,9
Dutina	7	18,5	2,0
Okenice Jih	7	14,3	2,6
Okenice Sever	7	13,6	2,5
Okenice Východ	7	11,7	2,5

Pozn.: T_{\min} – průměrná hodnota [°C] za celé sledované období 20.-26.7.2009;

SD – směrodatná odchylka; n – celkový počet sledovaných dní

Graf č. 2: Průměrné maximální denní teploty v jednotlivých úkrytech



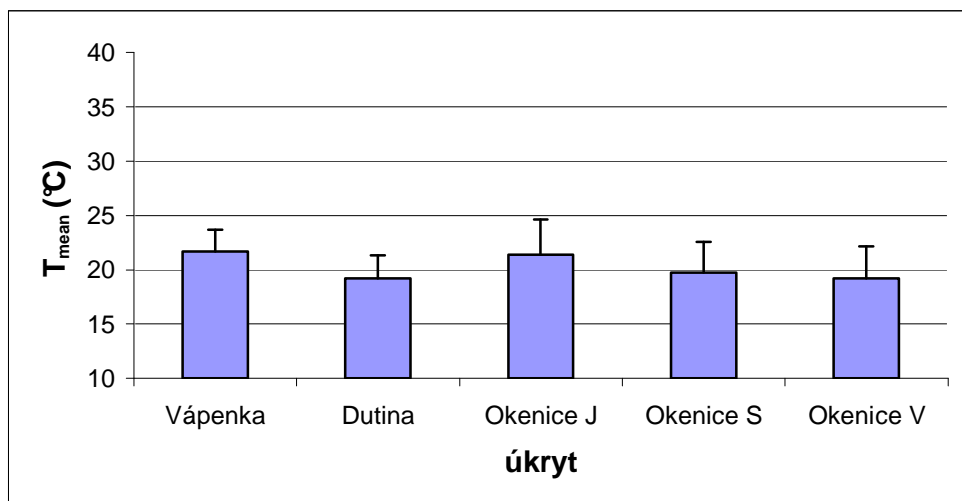
Tab č. 2: Průměrné maximální denní teploty v jednotlivých úkrytech

Úkryt	n	T_{\max}	SD
Celkem	35	26,2	5,7
Vápenka	7	22,9	2,1
Dutina	7	20,1	2,1
Okenice Jih	7	31,4	5,4
Okenice Sever	7	27,0	4,5
Okenice Východ	7	29,8	4,9

Pozn.: T_{\max} – průměrná hodnota [°C] za celé sledované období 20.-26.7.2009;

SD – směrodatná odchylka; n – celkový počet sledovaných dní

Graf č. 3: Průměrné hodnoty průměrných denních teplot v jednotlivých úkrytech



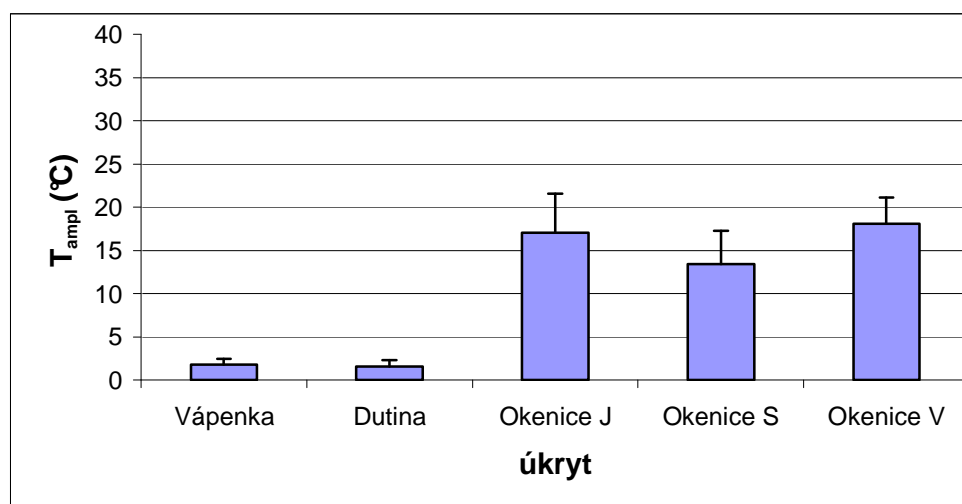
Tab č. 3: Průměrné hodnoty průměrných denních teplot v jednotlivých úkrytech

Úkryt	n	T_{mean}	SD
Celkem	35	20,3	2,7
Vápenka	7	21,7	2,0
Dutina	7	19,2	2,1
Okenice Jih	7	21,4	3,2
Okenice Sever	7	19,8	2,8
Okenice Východ	7	19,2	2,9

Pozn.: T_{mean} – průměrná hodnota [°C] za celé sledované období 20.-26.7.2009;

SD – směrodatná odchylka; n – celkový počet sledovaných dní

Graf č. 4: Průměrné denní teplotní amplitudy v jednotlivých úkrytech



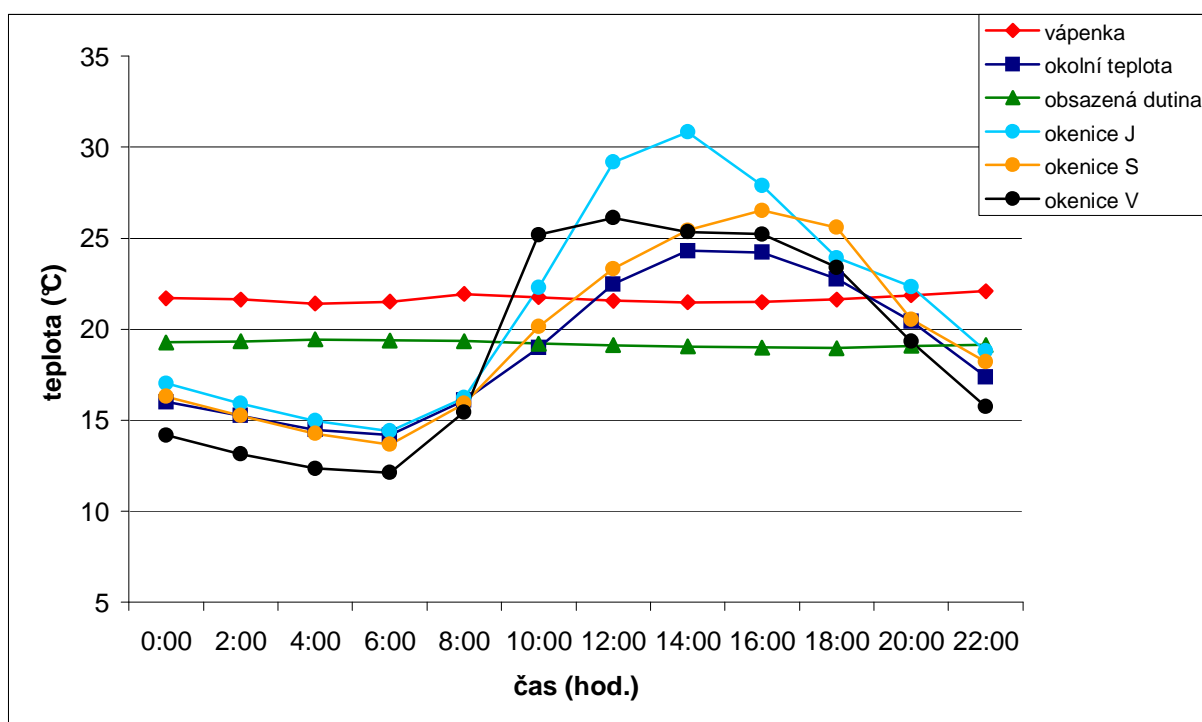
Tab č. 4: Průměrné denní teplotní amplitudy v jednotlivých úkrytech

Úkryt	n	T_{ampl}	SD
Celkem	35	10,4	7,9
Vápenka	7	1,8	0,7
Dutina	7	1,6	0,8
Okenice Jih	7	17,0	4,6
Okenice Sever	7	13,5	3,8
Okenice Východ	7	18,1	3,0

Pozn.: T_{ampl} – průměrná hodnota [°C] za celé sledované období 20.-26.7.2009;

SD – směrodatná odchylka; n – celkový počet sledovaných dní

Graf č. 5: Denní (24 h) průběh teplot v jednotlivých úkrytech



Tab č. 5: Hodnoty teplot v jednotlivých úkrytech v průběhu dne (24 h)

Čas [hod]	Vápenka		Obsazená dutina		Okenice Jih		Okenice Sever		Okenice Východ		Okolní teplota	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
0:00	21,7	1,9	19,3	2,0	17,0	2,5	16,3	2,6	14,2	2,5	16,0	2,2
2:00	21,6	1,8	19,3	2,1	15,9	2,6	15,3	2,6	13,1	2,4	15,3	2,0
4:00	21,4	1,8	19,4	2,1	15,0	2,5	14,3	2,5	12,4	2,4	14,5	2,0
6:00	21,5	2,0	19,4	2,0	14,4	2,3	13,7	2,3	12,1	2,3	14,2	2,2
8:00	21,9	2,3	19,3	2,1	16,2	1,9	15,9	1,9	15,4	1,7	16,1	2,0
10:00	21,8	2,1	19,2	2,1	22,3	3,6	20,1	2,7	25,2	6,0	19,0	2,5
12:00	21,6	2,0	19,1	2,0	29,2	5,6	23,3	3,6	26,1	4,1	22,5	4,1
14:00	21,5	1,9	19,0	2,1	30,8	5,3	25,4	4,1	25,3	4,3	24,3	4,3
16:00	21,5	1,8	19,0	2,0	27,9	4,9	26,5	4,3	25,2	4,6	24,2	4,3
18:00	21,6	1,8	19,0	2,0	23,9	4,9	25,6	3,6	23,4	3,3	22,8	3,1
20:00	21,9	1,9	19,1	2,0	22,3	2,8	20,5	2,5	19,3	2,7	20,4	2,5
22:00	22,1	1,8	19,1	2,0	18,8	2,5	18,2	2,3	15,7	2,4	17,4	2,1

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období 20.-26.7.2009; SD – směrodatná odchylka

V předložené práci byly srovnávány teplotní parametry 5 typů úkrytů. Výsledky prokázaly statisticky významné ($P < 0,05$) rozdíly v T_{\min} , T_{\max} a T_{ampl} mezi jednotlivými úkryty. Naproti tomu T_{mean} se mezi jednotlivými úkryty na zvolené hladině významnosti nelišily. Mnohočetná porovnání, pomocí Tukeyova HSD testu, prokázala signifikantní ($P < 0,05$) rozdíly v T_{\min} , T_{\max} a T_{ampl} zejména mezi vápenkou a okenicemi a dále mezi dutinou a okenicemi. Nejvyšší minimální denní teploty vykazovala vápenka ($21 \pm 1,9$ °C) a stromová dutina ($18,5 \pm 2,0$ °C), naopak nejnižší minimální denní teploty byly naměřeny za okenicí orientovanou na východ ($11,7 \pm 2,5$ °C). Nejvyšších denních teplotních maxim bylo dosaženo, dle sluneční expozice, za dřevěnou okenicí situovanou na jih ($31,4 \pm 5,4$ °C) a na východ ($29,8 \pm 4,9$ °C), zatímco průměrné teploty naměřené v jednotlivých úkrytech byly značně podobné a pohybovaly se kolem 20 °C. Největší denní kolísání teplot bylo zjištěno obecně u dřevěných okenic, z nichž nejvyšší amplitudy vykazovala okenice orientovaná na východ ($18,1 \pm 3,0$ °C) a na jih ($17 \pm 4,6$ °C).

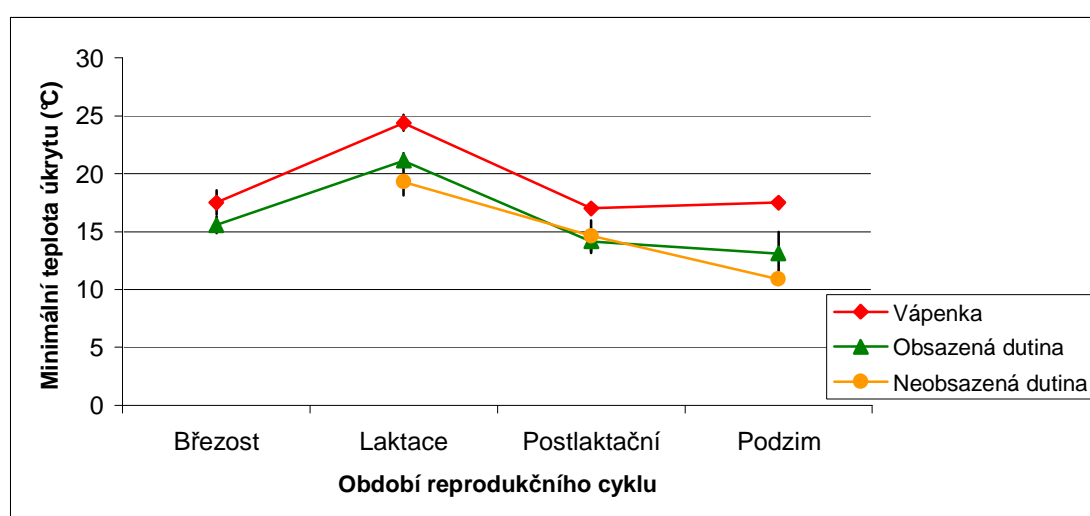
V grafu č. 5 je znázorněn denní (24 h) průběh teplot v jednotlivých úkrytech v porovnání s okolní teplotou. Z naměřených údajů je patrné, že teplota za okenicemi kolísala v závislosti na okolní teplotě a na expozici vůči slunečnímu záření. Okenice situovaná k jihu dosahovala teplotních maxim v odpoledních hodinách mezi 14 – 16 hod a v průběhu celého dne (24 h) dosahovala vyšších teplot než okolní prostředí. Okenice situovaná k východu byla nejteplejší v dopoledních hodinách mezi 10 – 13 hod a v průběhu světlé části dne vykazovala vyšší teploty než T_{amb} , naopak v noci byla v průměru o 2 °C chladnější než T_{amb} . Na rozdíl od okenic se zde vápenka a stromová dutina jeví jako teplotně velice stabilní úkryty s minimální závislostí na T_{amb} .

5.2. Teplotní parametry umělého a přirozeného úkrytu dendrofilního netopýra *Myotis daubentonii* v různých obdobích jeho reprodukčního cyklu

Hodnoty sledovaných parametrů (T_{\min} , T_{\max} , T_{mean} , T_{ampl}) v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu jsou uvedeny v tabulkách č. 6-9 a graficky vyobrazeny v grafech č.

6-9. Grafy č. 10-13 prezentují denní (24 h) průběh okolních teplot a teplot v jednotlivých úkrytech v období březosti, laktace, postlaktace a podzimních přeletů.

Graf č. 6: Průměrné T_{\min} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu



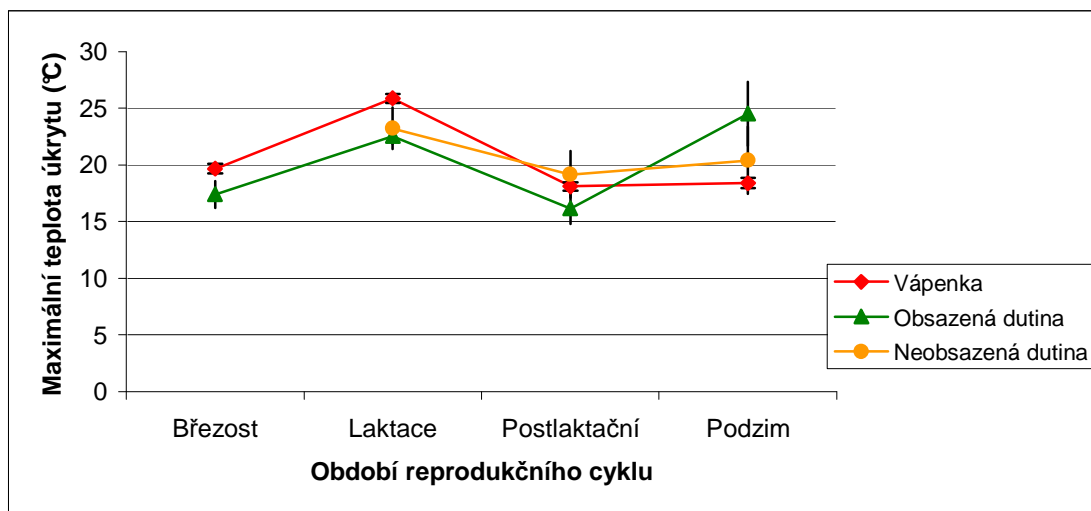
Tab č. 6: Hodnoty T_{\min} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu

Období rep.cyklu	Vápenka		Obsazená dutina		Neobsazená dutina	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
Březost	17,5	1,1	15,6	0,7	-----	-----
Laktace	24,4	0,7	21,1	0,7	19,3	1,2
Postlaktace	17,0	0,2	14,2	1,0	14,6	1,4
Podzimní přelety	17,5	0,5	13,1	1,9	10,9	0,5

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období

SD – směrodatná odchylka

Graf č. 7: Průměrné T_{\max} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu



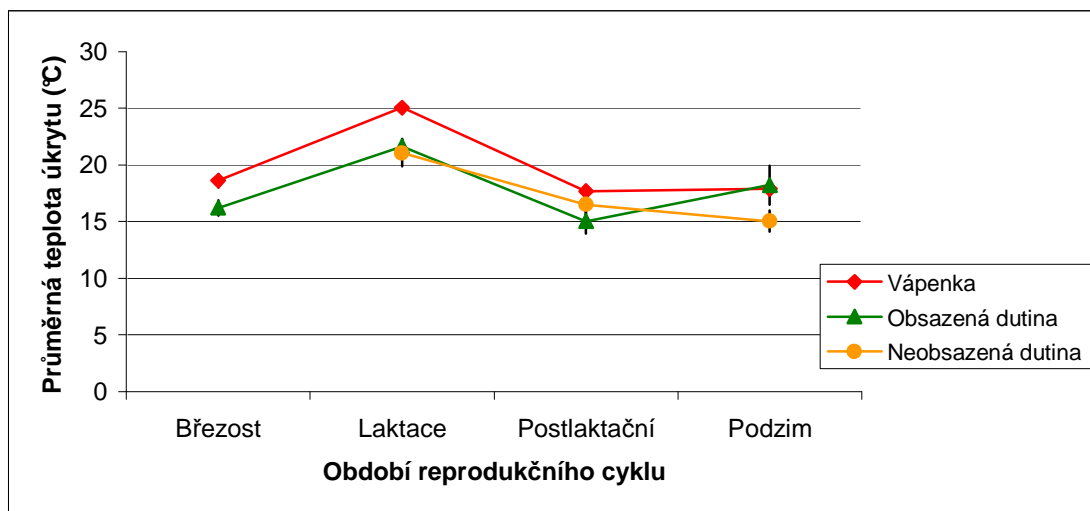
Tab č. 7: Hodnoty T_{\max} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu

	Vápenka		Obsazená dutina		Neobsazená dutina	
Období rep.cyklu	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
Březost	19,7	0,4	17,4	1,2	-----	-----
Laktace	25,9	0,4	22,5	0,7	23,2	1,8
Postlaktace	18,1	0,3	16,2	1,4	19,2	2,1
Podzimní přelety	18,4	0,5	24,5	2,8	20,4	3,0

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období

SD – směrodatná odchylka

Graf č. 8: Průměrné T_{mean} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu



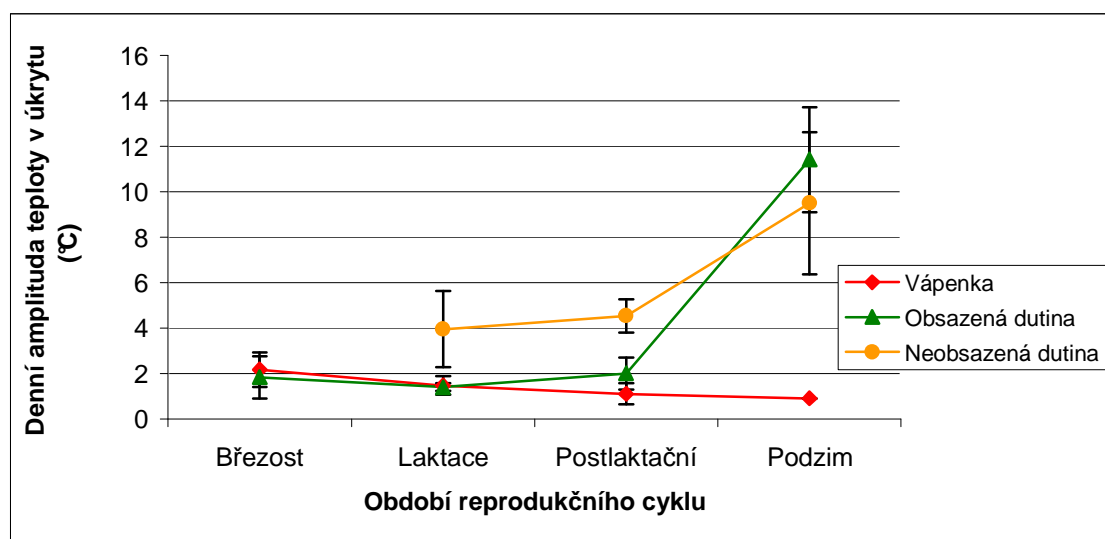
Tab č. 8: Hodnoty T_{mean} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu

Období rep.cyklu	Vápenka		Obsazená dutina		Neobsazená dutina	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
Březost	18,6	0,6	16,2	0,7	-----	-----
Laktace	25,1	0,5	21,6	0,7	21,1	1,2
Postlaktace	17,7	0,2	15,0	1,1	16,5	1,3
Podzimní přelehy	17,9	0,4	18,2	1,7	15,0	0,9

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období

SD – směrodatná odchylka

Graf č. 9: Průměrné T_{ampl} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu



Tab č. 9: Hodnoty T_{ampl} v jednotlivých obdobích reprodukčního cyklu

Období rep.cyklu	Vápenka		Obsazená dutina		Neobsazená dutina	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
Březost	2,2	0,8	1,8	0,9	-----	-----
Laktace	1,5	0,4	1,4	0,2	3,9	1,7
Postlaktace	1,1	0,5	2,0	0,7	4,5	0,7
Podzimní přelety	0,9	0,0	11,4	2,3	9,5	3,1

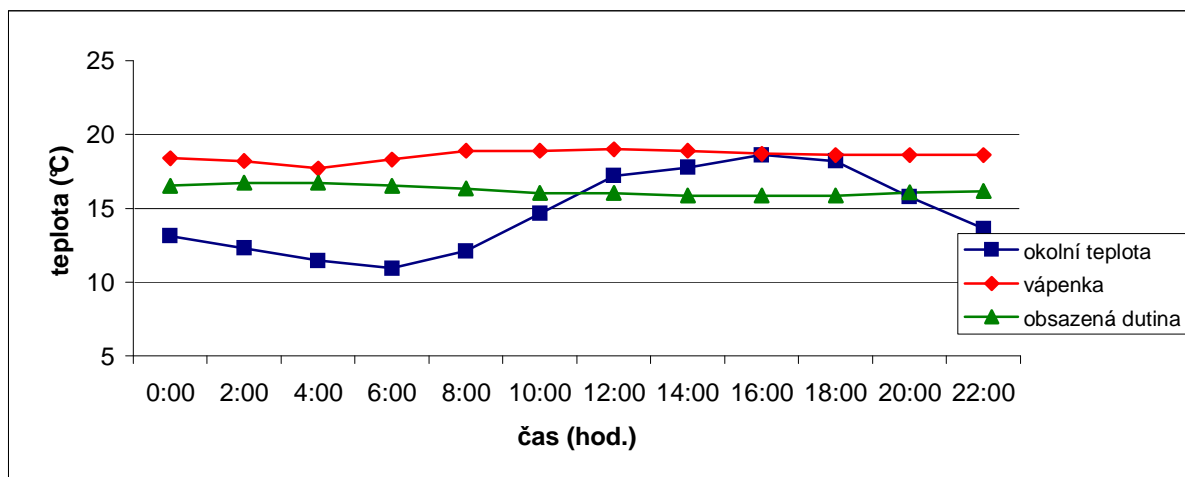
Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období

SD – směrodatná odchylka

Tab. č. 10: Výsledky hierarchické analýzy variance charakterizující mikroklíma ve 3 typech úkrytů (vápenka, obsazená dutina, neobsazená dutina) netopýra *Myotis daubentonii*. Model popisuje minimální denní teplotu, maximální denní teplotu, průměrnou denní teplotu a denní teplotní amplitudu. Hlavními faktory ovlivňujícími teplotní rozdíly v jednotlivých úkrytech jsou typ úkrytu a období reprodukčního cyklu.

	DF	F	p
Minimální teplota			
Úkryt	1	51,192	< 0,05
Období	2	149,277	< 0,05
Úkryt x Období	5	2,862	< 0,05
Maximální teplota			
Úkryt	1	0,274	0,604
Období	2	32,789	< 0,05
Úkryt x Období	5	8,363	< 0,05
Průměrná teplota			
Úkryt	1	24,046	< 0,05
Období	2	110,281	< 0,05
Úkryt x Období	5	5,245	< 0,05
Teplotní amplituda			
Úkryt	1	23,179	< 0,05
Období	2	38,577	< 0,05
Úkryt x Období	5	13,745	< 0,05

Graf č. 10: Denní (24 h) průběh teplot v období březosti



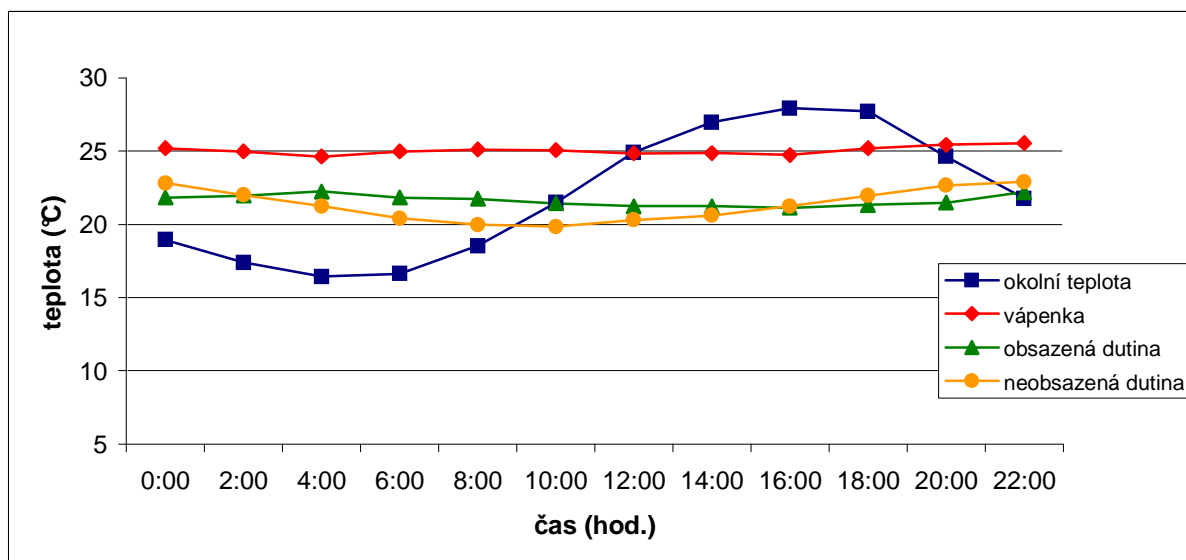
Tab č. 11: : Hodnoty teplot v průběhu dne (24 h) v období březosti

Čas [hod]	Vápenka		Obsazená dutina		Okolní teplota	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
0:00	18,4	0,5	16,5	0,6	13,1	2,2
2:00	18,2	0,6	16,7	0,7	12,3	2,0
4:00	17,7	0,9	16,7	0,8	11,5	2,3
6:00	18,3	0,5	16,5	0,6	10,9	2,5
8:00	18,9	0,4	16,3	0,7	12,1	1,5
10:00	18,9	0,8	16,0	0,7	14,6	1,0
12:00	19,0	0,7	16,0	0,7	17,2	3,0
14:00	18,9	0,6	15,9	0,8	17,8	3,8
16:00	18,7	0,5	15,9	0,7	18,6	4,3
18:00	18,6	0,5	15,9	0,7	18,2	4,2
20:00	18,6	0,4	16,1	0,5	15,8	2,9
22:00	18,6	0,4	16,2	0,5	13,6	2,9

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období

22.-24.5.2006; SD – směrodatná odchylka

Graf č. 11: Denní (24 h) průběh teplot v období laktace



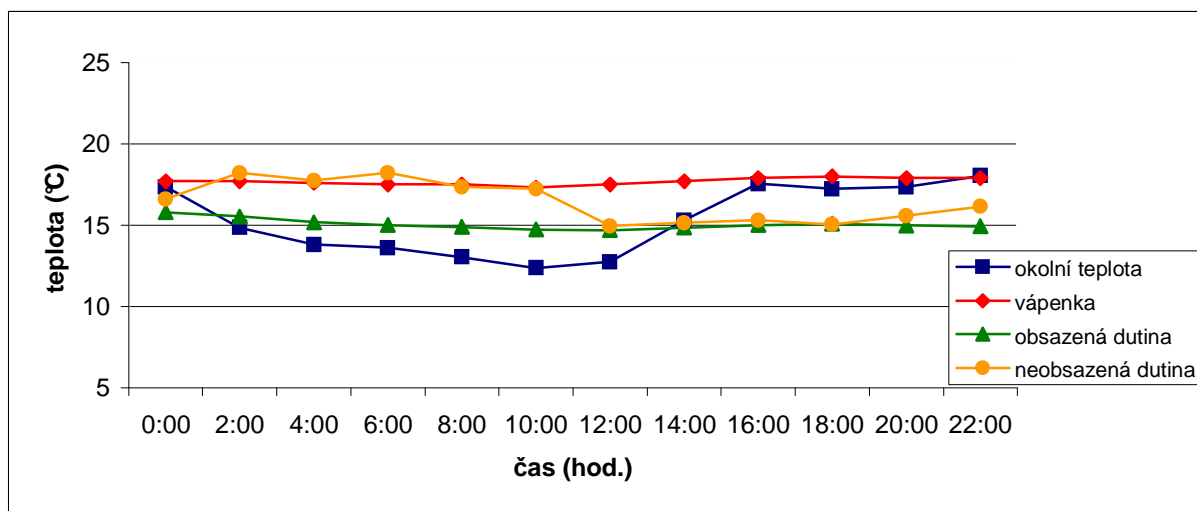
Tab č. 12: Hodnoty teplot v průběhu dne (24 h) v období laktace

Čas [hod]	Vápenka		Obsazená dutina		Neobsazená dutina		Okolní teplota	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
0:00	25,2	0,7	21,8	0,6	22,8	0,6	18,9	1,6
2:00	25,0	0,4	22,0	0,5	22,0	0,7	17,4	0,8
4:00	24,6	0,6	22,2	0,6	21,2	0,7	16,4	0,6
6:00	25,0	0,4	21,8	0,6	20,4	0,7	16,6	0,8
8:00	25,1	0,6	21,7	0,7	20,0	0,7	18,5	1,0
10:00	25,1	0,5	21,4	0,7	19,8	0,7	21,5	1,2
12:00	24,8	0,4	21,2	0,7	20,3	0,9	24,9	1,4
14:00	24,9	0,3	21,2	0,7	20,6	0,7	27,0	3,1
16:00	24,7	0,3	21,1	0,5	21,2	0,7	27,9	1,5
18:00	25,2	0,1	21,3	0,4	22,0	0,7	27,7	1,5
20:00	25,4	0,3	21,5	0,5	22,7	0,6	24,6	1,0
22:00	25,5	0,4	22,2	0,9	22,9	0,6	21,8	0,8

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období 20.-22.6.2006;

SD – směrodatná odchylka

Graf č. 12: Denní (24 h) průběh teplot v postlaktančním období



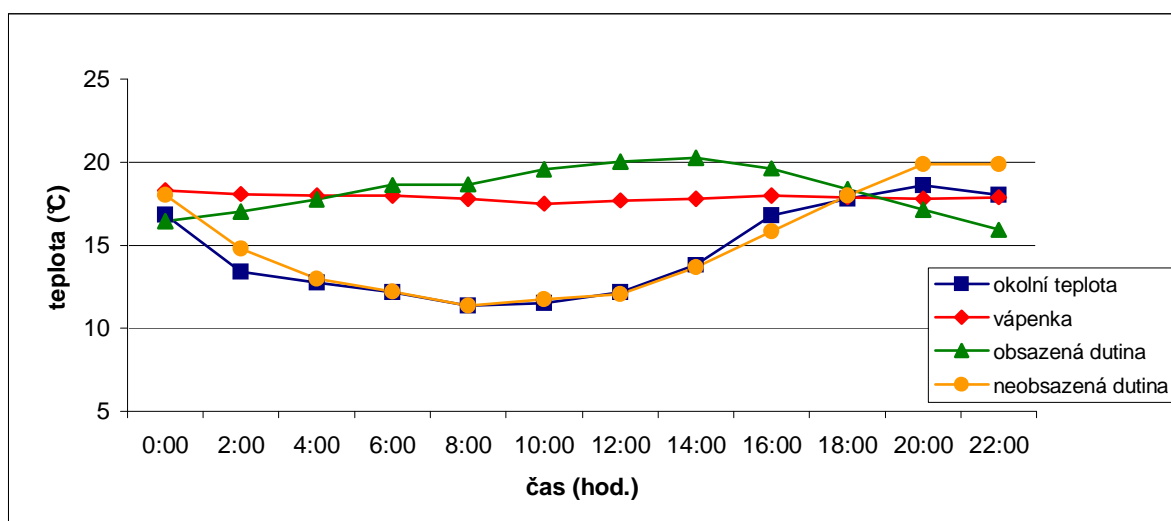
Tab č. 13: Hodnoty teplot v průběhu dne (24 h) v postlaktančním období

Čas [hod]	Vápenka		Obsazená dutina		Neobsazená dutina		Okolní teplota	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
0:00	17,7	0,2	15,8	1,5	16,6	0,3	17,3	1,5
2:00	17,7	0,2	15,5	1,5	18,2	1,4	14,8	0,8
4:00	17,6	0,3	15,2	1,3	17,7	1,4	13,8	1,2
6:00	17,5	0,1	15,0	1,3	18,2	2,4	13,6	1,1
8:00	17,5	0,1	14,9	1,1	17,3	2,0	13,0	0,8
10:00	17,3	0,1	14,7	1,0	17,2	2,0	12,4	1,4
12:00	17,5	0,1	14,7	1,0	14,9	1,3	12,7	1,2
14:00	17,7	0,2	14,9	0,8	15,1	1,0	15,3	0,8
16:00	17,9	0,1	15,0	0,7	15,3	0,6	17,5	1,2
18:00	18,0	0,2	15,1	0,6	15,0	1,2	17,2	3,8
20:00	17,9	0,1	15,0	0,5	15,6	0,6	17,3	1,7
22:00	17,9	0,1	14,9	0,4	16,1	0,1	18,0	1,4

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období 3.-5.8. 2006;

SD – směrodatná odchylka

Graf č. 13: Denní (24 h) průběh teplot v období podzimních přeletů



Tab č. 14: Hodnoty teplot v průběhu dne (24 h) v období podzimních přeletů

Čas [hod]	Vápenka		Obsazená dutina		Neobsazená dutina		Okolní teplota	
	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD	T [°C]	SD
0:00	18,3	0,5	16,5	0,8	18,0	2,4	16,8	0,7
2:00	18,1	0,4	17,0	0,3	14,8	1,3	13,4	1,0
4:00	18,0	0,5	17,8	0,5	13,0	0,7	12,7	1,4
6:00	18,0	0,5	18,6	0,8	12,2	0,5	12,2	1,1
8:00	17,8	0,4	18,7	0,5	11,4	0,7	11,4	1,2
10:00	17,5	0,4	19,6	0,7	11,8	0,4	11,5	0,7
12:00	17,7	0,5	20,1	1,2	12,0	0,4	12,2	1,1
14:00	17,8	0,4	20,3	1,4	13,7	1,0	13,8	1,2
16:00	18,0	0,2	19,6	1,2	15,8	1,2	16,8	0,4
18:00	17,9	0,3	18,4	1,5	18,0	1,1	17,8	0,9
20:00	17,8	0,4	17,2	1,5	19,9	2,3	18,6	0,6
22:00	17,9	0,3	15,9	1,5	19,9	2,7	18,0	1,3

Pozn.: T – průměrná teplota za celé sledované období 16.8.-18.8. 2006;

SD – směrodatná odchylka

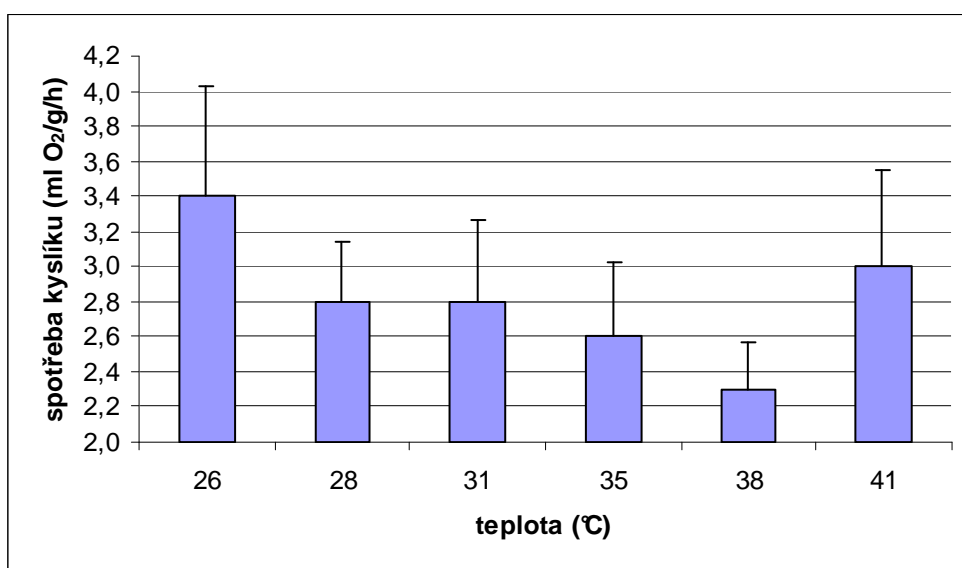
Naše výsledky prokázaly výrazný vliv ($P < 0,05$, Tabulka 10) typu úkrytu a období reprodukčního cyklu na sledované parametry (T_{\min} , T_{\max} , T_{mean} , T_{ampl}). Vápenka dosahovala vyšších T_{\min} , T_{\max} i T_{mean} v období březosti, laktace a postlaktace v porovnání s obsazenou stromovou dutinou. Mnohočetná porovnání, pomocí Tukeyova HSD testu, prokázala, že se T_{mean} ve vápence v období laktace signifikantně ($P < 0,05$) lišila od hodnot, naměřených ve vápence v období březosti i od hodnot naměřených v obsazené a neobsazené dutině ve všech obdobích reprodukčního cyklu. Stejně signifikantní rozdíl byl zjištěn u T_{\min} , kde výjimku tvořila pouze obsazená dutina v období laktace, a u T_{\max} , kde do tohoto modelu nezapadala obsazená dutina v období laktace, obsazená dutina v období podzimních přeletů a neobsazená dutina v období laktace, u kterých byl rozdíl teplot statisticky nevýznamný. Obsazená stromová dutina dosahovala vyšších T_{\max} ($24,5 \pm 2,8$ °C) a T_{mean} ($18,2 \pm 1,7$ °C) v období podzimních přeletů v porovnání s vápenkou ($T_{\max} = 18,4 \pm 0,5$ °C; $T_{\text{mean}} = 17,9 \pm 0,4$) a neobsazenou stromovou dutinou ($T_{\max} = 20,4 \pm 3,0$ °C; $T_{\text{mean}} = 15,0 \pm 0,9$). Naproti tomu v postlaktčním období obsazená stromová dutina dosahovala nižších T_{\min} ($14,2 \pm 1,0$ °C), T_{\max} ($16,2 \pm 1,4$ °C) a T_{mean} ($15,0 \pm 1,1$ °C) v porovnání s vápenkou ($T_{\min} = 17,0 \pm 0,2$ °C; $T_{\max} = 18,1 \pm 0,3$ °C; $T_{\text{mean}} = 17,7 \pm 0,2$ °C) a neobsazenou stromovou dutinou ($T_{\min} = 14,6 \pm 1,4$ °C; $T_{\max} = 19,2 \pm 2,1$ °C; $T_{\text{mean}} = 16,5 \pm 1,3$ °C).

Nejstabilnější teploty ve všech obdobích reprodukčního cyklu byly zjištěny ve vápence. Obsazená stromová dutina vykazovala malé kolísání teplot v období březosti ($1,8 \pm 0,9$ °C), laktace ($1,4 \pm 0,2$ °C) a postlaktace ($2,0 \pm 0,7$ °C). Naopak v období podzimních přeletů bylo v obsazené ($11,4 \pm 2,3$ °C) i neobsazené ($9,5 \pm 3,1$ °C) stromové dutině naměřeno značné kolísání teplot. V grafech č. 10 – 13 jsou znázorněny denní (24 h) průběhy teplot v jednotlivých úkrytech v různých obdobích reprodukčního cyklu v porovnání s okolní teplotou. Z naměřených údajů vyplývá, že vápenka i obsazená stromová dutina jsou teplotně stabilní úkryty s minimální závislostí na T_{amb} .

5.3. Vliv různých okolních teplot na velikost energetické přeměny

Hodnoty spotřeby kyslíku při různých okolních teplotách jsou uvedeny v tabulce č. 15 a 16 a graficky znázorněny v grafu č. 14 a 15. Graf č. 16 prezentuje výsledky orientačního měření spotřeby kyslíku za konstantní okolní teploty 26 °C, které mělo přispět ke zjištění nezbytné doby nutné k navození klidových metabolických hodnot po přenesení pokusného zvířete do experimentálního zařízení.

Graf č. 14: Závislost energetické přeměny na teplotě okolí u netopýra večerního (*Eptesicus serotinus*)



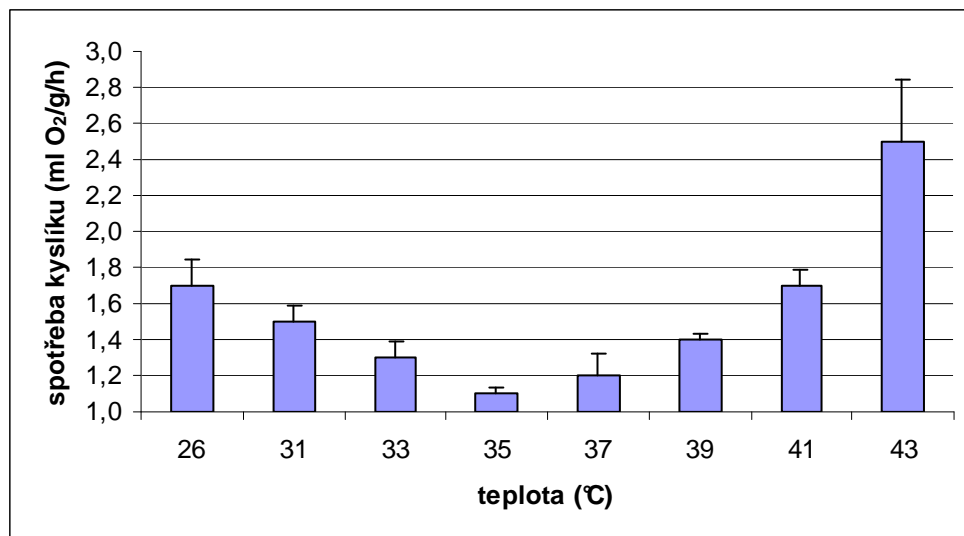
Pozn.: V grafu jsou uvedeny průměrné hodnoty (n=4); $\bar{\text{T}}$ - střední chyba průměru

Tab č. 15: Hodnoty spotřeby kyslíku u netopýra večerního (*Eptesicus serotinus*)

Teplota [°C]	Spotřeba kyslíku [ml O ₂ /g/h]	SE
26	3,4	0,6
28	2,8	0,3
31	2,8	0,5
35	2,6	0,4
38	2,3	0,3
41	3,0	0,6

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty (n=4); SE - střední chyba průměru

Graf č. 15: Závislost energetické přeměny na teplotě okolí u netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*)



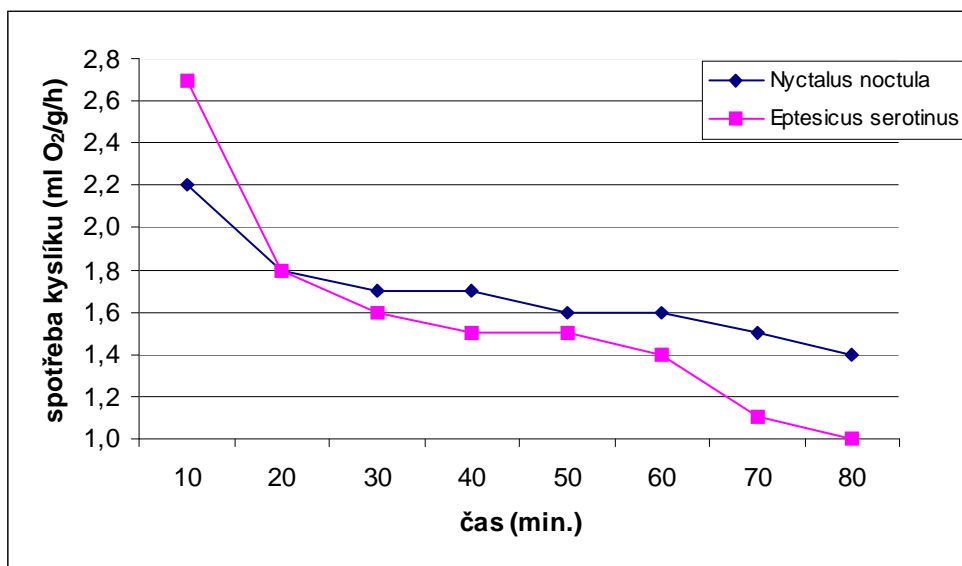
Pozn.: V grafu jsou uvedeny průměrné hodnoty (n=4); ┘ - střední chyba průměru

Tab č. 16: Hodnoty spotřeby kyslíku u netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*)

Teplota [°C]	Spotřeba kyslíku [ml O ₂ /g/h]	SE
26	1,7	0,2
31	1,5	0,1
33	1,3	0,1
35	1,1	0,0
37	1,2	0,1
39	1,4	0,0
41	1,7	0,1
43	2,5	0,4

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty (n=4); SE - střední chyba průměru

Graf č. 16: Orientační měření doby potřebné k ustálení metabolismu po přenesení netopýra rezavého (*N. noctula*) a netopýra večerního (*E. serotinus*) do metabolické komory



Tab č. 17: Hodnoty spotřeby kyslíku u netopýra rezavého (*N. noctula*) a netopýra večerního (*E. serotinus*) při okolní teplotě 26 °C

Čas [min.]	Spotřeba kyslíku [ml O ₂ /g/h]	
	Netopýr rezavý	Netopýr večerní
10	2,2	2,7
20	1,8	1,8
30	1,7	1,6
40	1,7	1,5
50	1,6	1,5
60	1,6	1,4
70	1,5	1,1
80	1,4	1,0

Z výsledků je patrná celkově větší variabilita dat naměřených u netopýra večerního (*E. serotinus*). Vyšší metabolismus na počátku i v průběhu některých pokusů u tohoto druhu mohl být způsoben zahrnutím hodnot z měření, před jejichž realizací byli netopýři vystaveni jistému stresu při transportu. U netopýra večerního bylo dosaženo absolutně nejnižšího metabolismu při kontrolním měření v okolní teplotě 26 °C, kdy spotřeba kyslíku dosahovala 1,0 ml O₂/g/h, v průběhu zahřívání pak činila nejnižší hodnota 1,3 ml O₂/g/h (32 °C). Naopak netopýr rezavý (*N. noctula*) vykazoval absolutně nejnižší metabolismus 1,0 ml O₂/g/h při 37 °C a při kontrolním měření v okolní teplotě 26 °C nejnižší spotřeba kyslíku dosahovala 1,4 ml O₂/g/h. Všechny výše uvedené hodnoty lze považovat za klidový metabolismus.

Z grafů č. 14 a č. 15 je patrné, že nejnižší průměrná spotřeba kyslíku byla zjištěna u netopýra večerního v teplotách přibližně 38 °C (2,3 ml O₂/g/h) a u netopýra rezavého přibližně v 35 °C (1,1 ml O₂/g/h). Při teplotách blížících se 40 °C bylo u obou druhů netopýrů pozorováno zvyšování aktivity a metabolismu (okolo 3 ml O₂/g/h), přesouvání se do horních (chladnějších) partií okenice, resp. pařezu a po skončení pokusu bylo u všech jedinců zaznamenáno zrychlené dýchání, zvýšená produkce slin a pocení v oblasti hlavy a šíje. Při jednom z pokusů, ve kterém okolní teplota dosáhla 43 °C, došlo bohužel k úhynu měřených netopýrů druhu *E. serotinus*.

V průběhu některých měření byl orientačně změřen také respirační kvocient (CO₂/O₂), který nás informuje o povaze metabolizovaného substrátu. U netopýra rezavého se pohyboval průměrně okolo 0,8 a u netopýra večerního dosahoval přibližně 1,0, což jsou hodnoty zcela fyziologické.

6. DISKUZE

Cílem diplomové práce bylo porovnat mikroklimatické parametry přírodních a umělých typů úkrytů dendrofilních a štěrbinových druhů netopýrů a na základě těchto údajů se pokusit zhodnotit vliv různých okolních teplot na velikost energetické přeměny.

Výběr vhodného úkrytu poskytujícího příznivé mikroklima je zásadní faktor ovlivňující přežití a úspěšnou reprodukci netopýrů (Kunz a Lumsden, 2003). Klíčovou roli při hledání teplotně optimálního úkrytu hrají měnící se energetické nároky během reprodukčního cyklu. Je známo, že reprodukčně aktivní samice si během březosti a laktace cíleně vybírají teplejší úkryty (Sedgeley, 2001; Lausen a Barclay, 2003), které jim jednak umožňují šetřit energii a jednak urychlují vývoj mláďat. Naproti tomu samci či reprodukčně neaktivní samice v tomto období preferují chladnější úkryty, které jim dovolují upadnout do torporu a tím minimalizovat energetické nároky (Dietz a Kalko, 2006). V souladu s těmito nálezy jsou i výsledky výzkumu (Lučan et al., 2010), prováděného na druhu *Myotis daubentonii*, který potvrdil, že chladnější úkryty s nestabilními teplotami jsou okupovány převážně samci a teplejší a teplotně stabilnější úkryty jsou obývány zejména mateřskými koloniemi.

Netopýr vodní (*Myotis daubentonii*) je druh primárně obývajících stromové dutiny (Rieger, 1996; Boonman, 2000; Encarnação a ost., 2005; Lučan a ost., 2009), ale příležitostně využívá i umělé úkryty (Nyholm, 1965; Gerell, 1985, Lučan a ost.), které mu mohou poskytovat vhodné mikroklima, případně větší prostor pro početnější kolonie než stromové dutiny. Důkazem tohoto tvrzení je i námi pozorovaná mateřská kolonie netopýra vodního, čítající více než 200 jedinců a dlouhodobě (více než 40 let) osidlující umělý úkryt - vápenku.

Z výsledků naměřených v roce 2006 vyplývá, že vápenka je celoročně teplotně velice stabilní úkryt, který příliš nepodléhá kolísání okolních teplot. Tato vlastnost je dána zejména její strukturou, kdy zhruba 1 m silné cihlovo-kamenné stěny během slunečných dní akumulují teplo a v chladnějších částech dne, příp. v noci ho opět vyzařují. V období březosti, laktace a postlaktace byly ve vápence naměřeny vyšší teploty v porovnání s obsazenou stromovou dutinou, která byla naopak teplejší v období podzimních přeletů. Tyto měnící se mikroklimatické poměry ve vápence a stromové dutině jsou reflektovány následujícím agregačním chováním. Samice netopýrů vodních se v období březosti shlukují do početné kolonie ve vápence pravděpodobně z termoregulačních důvodů, jelikož průměrné teploty v úkrytu jsou poměrně nízké (kolem 18 °C). To platí zejména pro gravidní samice, které takto využívají výhod sociální termogenese (Willis a Brigham, 2007). V následujícím období

laktace, kdy teplota v úkrytu vzroste a shlukování tudíž už není tak výhodné, se velikost kolonie zmenšuje a disperguje do okolních stromových dutin (Lučan a Hanák, 2002). V tomto období kolonii opouští zejména dospělí samci a reprodukčně neaktivní samice, kterým celkově chladnější stromové dutiny umožňují upadnout do torporu a tím šetřit energii (Dietz a Kalko, 2006). V postlaktacním a podzimním období dochází k další desintegraci a zmenšení skupin v jednotlivých úkrytech. Během podzimních přeletů se letní kolonie definitivně rozpadá a netopýři se přesouvají z vápenky do stromových dutin, které jsou v tomto období teplejší. Vyšší teplota jim během přípravy na hibernaci umožňuje snížit energetické nároky. Analogické sezónní změny v početnosti mateřských kolonií byly pozorovány také u netopýra hvízdavého (*Pipistrellus pipistrellus*) (Webb et al., 1996; Feyerabend a Simon, 2000), netopýra stromového (*Nyctalus leisleri*) (Shiel a Fairley, 1999) a netopýra Brandtova (*Myotis brandtii*) (Schmidt, 2005).

Řada studií naznačuje, že právě teplota je tím klíčovým faktorem ovlivňujícím výběr úkrytu (Vonhof a Barclay, 1996; Sedgeley, 2001; Ruczyński, 2006). Je známo, že úkryty obydlené netopýry jsou teplejší než neobydlené (Kunz, 1982). Toto potvrzuje i studie Ruczyńského (2006), při níž bylo prokázáno, že stromové dutiny obývané netopýry jsou v průměru teplejší než neobývané. Naše výsledky rovněž naznačují určité rozdíly v některých obdobích reprodukčního cyklu mezi obsazenými a neobsazenými stromovými dutinami. Na podzim byly obsazené dutiny v průměru o 3 °C teplejší, naopak v postlaktacním období byly průměrně o 1,5 °C chladnější. Během laktace rozdíl činil průměrně 0,5 °C. Všechny tyto skutečnosti korespondují s výše zmiňovanou sezónní populační dynamikou.

Většina našich netopýrů má silný sklon k synantropizaci a proto jim vyhovují početné chatové kolonie, nacházející se ve studované oblasti, které se staly zdrojem úkrytů zejména pro šterbinové druhy netopýrů (*Myotis mystacinus*, *Myotis brandtii*, *Pipistrellus pygmaeus*). Naše měření prováděná v létě 2009 přinesla zjištění, že se tito zástupci za okenicemi dobrovolně vystavují teplotám mnohdy přesahujícím 40 °C. Mikroklima těchto úkrytů je, podobně jako u šterbin pod odchlípnutou stromovou kůrou, výrazně ovlivňováno okolními podmínkami, kdy důležitou roli zde hraje především expozice vůči slunečnímu záření. V našem experimentu nebylo možné měřit velikost slunečního záření. Lze se však domnívat, že tento zdroj energie může významně redukovat energetické ztráty těch netopýrů, kteří neupadají do torporu nebo naopak umožnit pasivní ohřátí při probouzení z torporu, zejména večer před výletem netopýrů za potravou (Geiser a Drury, 2003; Geiser a ost., 2004; Ruczyński, 2006).

Na základě údajů naměřených v přírodě jsme se pokoušeli odhadnout vliv měnících se okolních teplot na velikost energetické přeměny v simulovaných laboratorních podmínkách, přičemž naší snahou bylo, aby experiment proběhl co nejméně invazivně a abychom minimalizovali vliv případného stresu na pokusná zvířata. Tyto podmínky byly splněny jednak zvolením vhodné metodiky pokusu a jednak využitím unikátního experimentálního modelu v podobě netopýrů dlouhodobě chovaných v zajetí a přivyklých soužití s člověkem. Přestože někteří autoři (Geiser a ost., 2000) upozorňují na skutečnost, že termoregulační chování může být ovlivněno podmínkami chovu v zajetí, domníváme se, že v našem případě převažují výhody tohoto experimentálního objektu. Jistou nevýhodou by snad mohl být pouze fakt, že jsme neměřili teplotu těla pokusných zvířat.

Netopýři se liší od ostatních heterotermů tím, že se jejich tělní teplota, pokud nejsou aktivní, blíží teplotám okolí (Eisentraut, 1934). Změny tělesné teploty mají poté za následek změny v metabolické odpovědi těchto zvířat. Tato skutečnost je v protikladu s nálezy u homoiotermních živočichů, u kterých se metabolismus mění v závislosti na okolní teplotě, zatímco teplota těla zůstává téměř konstantní (Hock, 1951). Dokonce ani u ostatních hibernatů nelze pozorovat tento fenomén, jelikož za bdělého stavu jejich teplota ani metabolismus nekolísá v závislosti na okolní teplotě (Lyman, 1948).

Energetický obrat netopýrů, na základě spotřeby kyslíku, byl již v minulosti měřen řadou autorů (Kayser, 1940; Pearson, 1947; Morrison, 1948; Hock 1951; Maloney a ost., 1999). Například Morrison (1948) zjistil u druhu *Myotis lucifugus* a *Eptesicus fuscus* spontánní čtyřadvacetihodinové metabolické rytmy s rovnoměrným minimem spotřeby kyslíku (0,4-0,6 ml O₂/g/h) v době inaktivity a s prudce stoupajícími maximy (6,6-7,2 ml O₂/g/h) v době mezi 18. a 24. hodinou. Podobných výsledků na stejném materiálu dosáhl i Pearson (1947). Vedle spontánních rytmických změn metabolismu lze také pozorovat cirkadiánní rytmus tělesné teploty (Merzbacher, 1903; Slonim 1952). Většina výše uvedených autorů však nezkoumala vliv okolních teplot na tyto parametry. Námi naměřené nejnižší hodnoty spotřeby kyslíku ukazují na možnou existenci jakéhosi teplotního optima či termoneutrální zóny, která je netopýry v přírodě aktivně vyhledávána přinejmenším v některých obdobích reprodukčního cyklu. Naopak pozorované zvýšení metabolismu i aktivity při okolních teplotách okolo 40 °C naznačuje, že netopýři *N. noctula* a *E. serotinus* obtížně snášejí tyto vyšší teploty. Úhyn netopýrů *E. serotinus* při jednom z pokusů, kdy byla okolní teplota ještě zvýšena o 1 °C (na 43 °C) oproti předchozím experimentům, si lze vysvětlit několika způsoby: (1) druh *E. serotinus* má nižší toleranci vůči vysokým teplotám; (2) pokusné podmínky, příp. podmínky, ve kterých jsou netopýři chováni, nepříznivě

ovlivňují jejich toleranci k vyšším teplotám; (3) změna vlhkosti (zaznamenaná dodatečně i na absorberu v kyslíkovém analysátoru) v „metabolické komoře“ mohla snížit účinnost ochlazování netopýrů prostřednictvím evaporace.

Z výsledků jsou patrné značné rozdíly mezi oběma druhy v metabolických odpovědích na různé okolní teploty. Hanuš (1959) ve své práci rovněž zdůrazňuje značnou variabilitu termických a metabolických reakcí u netopýrů. Tyto rozdíly mohou být podle tohoto autora způsobeny fyziologickými odlišnostmi, jež jsou v soulase s jejich biologií, zejména velikostí, dále mohou být ovlivněny pohlavím a nelze vyloučit ani existenci vlivu teplotních podmínek, ve kterých jsou netopýři chováni.

7. ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo srovnat teplotní profil různých typů úkrytů dendrofilních druhů netopýrů, porovnat teplotní parametry umělého a přirozeného úkrytu dendrofilního netopýra vodního (*Myotis daubentonii*) v různých obdobích jeho reprodukčního cyklu a na základě údajů naměřených v přírodě se pokusit zhodnotit vliv různých okolních teplot na velikost energetické přeměny u netopýra večerního (*Eptesicus serotinus*) a netopýra rezavého (*Nyctalus noctula*).

Na základě uskutečněných měření bylo zjištěno, že:

- vápenka a stromové dutiny jsou ve studované oblasti CHKO Třeboňsko obývány jinými druhy netopýrů než okenice, což dokazuje, že každý typ úkrytové strategie je využíván druhy s jinými nároky na úkrytové mikroklima
- vápenka poskytuje netopýrům v některých obdobích (zejména v období březosti a laktace) výhodnější mikroklima než stromové dutiny, což může být jeden z důvodů proč se v ní během březosti agreguje tak velká kolonie samic
- výsledky metabolických měření potvrdily rozdílné nároky obou zkoumaných druhů netopýrů na mikroklimatické poměry
- vysoké teploty spadající do termoneutrální zóny pravděpodobně umožňují netopýrům udržovat tělesnou teplotu pasivně a tím minimalizovat energetické nároky
- lze se domnívat, že z námi testovaných dvou druhů netopýrů, má netopýr rezavý větší termoregulační plasticitu

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Adolph, R.G.** (1947): Tolerance to heat and dehydration in several species of mammals. *Am. J. Physiol.* 151: 564–575.
- Alder, H.** (1994): Erste Erfahrungen mit dem Data Logger: Ereigniszählung vor Baumhöhlenquartieren von Wasserfledermäusen, *Myotis daubentoni*, bei gleichzeitiger Messung mikroklimatischer Werte. *Mitt. Natur. Gesell. Schaff.* 39: 119–133.
- Anthony, E.L.P., Kunz, T.H.** (1977): Feeding strategies of the little brown bat, *Myotis lucifugus*, in southern New Hampshire. *Ecology* 58: 775–786.
- Arlettaz, R., Christe, P., Lugon, A., Perrin, N., Vogel, P.** (2001): Food availability dictates timing of parturition in insectivorous mouse-eared bats. *Oikos* 95: 105–111.
- Audet, D., Fenton, M.B.** (1988): Heterothermy and use of torpor by the bat *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae): a field study. *Physiol. Zool.* 61: 197–204.
- Bakken, G.S., and Kunz, T.H.** (1988): Microclimate methods. *In Ecological and behavioral methods for the study of bats. Edited by T.H. Kunz.* Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. pp 303–332.
- Barclay, R. M. R., Kurta, A.** (2007): Ecology and behavior of bats roosting in tree cavities and under bark. *In Bats in Forests: Conservation and Management. Edited by Lacki, M., A. Kurta, and J. Hayes.* Johns Hopkins University Press. Baltimore, Maryland. pp. 17–59.
- Bartholomew, G. A., Hudson, J. W. and Howell, T. R.** (1962): Body temperature, oxygen consumption, evaporative water loss, and heart rate in the poor-will. *Condor* 64: 117–125.
- Bartholomew, G.A., Leitner, P., Nelson, J.E.** (1964): Body temperature, oxygen consumption, and heart rate in three species of Australian flying foxes. *Physiol. Zool.* 37: 179–198.
- Betts, B.J.** (1998): Roosts used by maternity colonies of silver-haired bats in northeastern Oregon. *J. Mammal.* 79: 643–650.
- Bihari, Z.** (2004): The roost preference of *Nyctalus noctula* (Chiroptera, Vespertilionidae) in summer and the ecological background of their urbanization. *Mammalia* 68: 329–336.
- Bonaccorso, F.J., Arends, A., Genoud, M., Cantoni, D., Morton, T.** (1992): Thermal ecology of moustached and ghost-faced bats (Mormoopidae) in Venezuela. *J. Mammal.* 73: 365–378.

- Boonman, M.** (2000): Roost selection by noctules (*Nyctalus noctula*) and Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*). *J. Zool.* 251: 385–389.
- Brittingham, M. C., Williams, L.M.** (2000): Bat boxes as alternative roosts for displaced bat maternity colonies. *Wildl. Soc. Bull.* 28: 197–207.
- Broders, H.G., Forbes, G.J.** (2004): Interspecific and intersexual variation in roost-site selection of northern long-eared and little brown bats in the Greater Fundy National Park ecosystem. *J. Wildl. Manage.* 68: 602–610.
- Bronner, G.N., Maloney, S.K., Buffenstein, R.** (1999): Survival tactics within thermally challenging roosts: heat tolerance and cold sensitivity in the Angolan free-tailed bat, *Mops condylurus*. *S. Afr. J. Zool.* 34: 1–10.
- Burbank, R.C., Young, J.Z.** (1934): Temperature changes and winter sleep of bats. *J. Physiol.* 82: 459–467.
- Calder, T. G. , Golding, B. G. and Anderson, A. D.** (1983): Management for arboreal species in the Wombat State Forest , Environmental Report 16 . Monash University, Graduate School of Environmental Science , Melbourne, Australia.
- Canals, M., Rosenmann, M., Bozinovic, F.** (1989): Energetics and geometry of huddling in small mammals. *J. Theor. Biol.* 141: 181–189.
- Contreras, L.C.** (1984): Bioenergetics of huddling: test of the psycho-social hypothesis. *J. Mammal.* 65:256–262.
- Crampton, L. H., Barclay, R.M.R.** (1998): Selection of roosting and foraging habitat by bats in different-aged aspen mixewood stands. *Conserv. Biol.* 12: 1347–1358.
- Cryan, P.M., Bogan, M.A., Yanega, G.M.** (2001): Roosting habitats of four bat species in the Black Hills of South Dakota. *Acta Chiropt.* 3: 43–52.
- Červený, J., Bürger, P.** (1989): Density and structure of the bat community occupying an old park at Žihobce (Czechoslovakia). *In European Bat Research 1987. Edited by V. Hanák, I. Horáček, J. Gaisler.* Charles University Press, Praha. pp. 475–486.
- Davis, W.H.** (1963): *Bat Banders News* 4: 25.
- Dechmann, D.K.N., Kalko, E.K.V., and Kerth, G.** (2004): Ecology of an exceptional roost: energetic benefits could explain why the bat *Lophostoma silvicolium* roost in active termite nests. *Evol. Ecol.* 6: 1037–1050.
- Dietz, M., Kalko, E.K.V.** (2006): Seasonal changes in daily torpor patterns of free- ranging female and male Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*). *J. Comp. Physiol. B* 176: 223–231.

- Eisentraut, M.** (1934): Der Winterschlaf der Fledermäuse mit besonderer Berücksichtigung der Wärmeregulation. *Z. Morphol. Ökol. Tiere* 29: 231–267.
- Eisentraut, M.** (1938): Wärmeregulation tropischer Fledermäuse. *Sitzungsber. d. ges. naturforsch. Freunde*: 86–90.
- Encarnação, J.A., Kierdorf, U., Holweg, D., Jasnoch, U., Wolters, V.** (2005): Sex-related differences in roost-site selection by Daubenton's bats *Myotis daubentonii* during the nursery period. *Mammal. Rev.* 35: 285–294.
- Entwistle, A.C.** (1994): Roost ecology of the brown long-eared bat in north-east Scotland. PhD thesis, University of Aberdeen, UK.
- Entwistle, A.C., Racey, P.A., and Speakman, J.R.** (1997): Roost selection by the brown long-eared bat *Plecotus auritus*. *J. Appl. Ecol.* 34: 399–408.
- Entwistle, A.C., Racey, P.A., Speakman, J.R.** (1998): The reproductive cycle and determination of sexual maturity in male brown long eared bats, *Plecotus auritus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *J. Zool.* 244: 63–70.
- Fenton, M.B.** (1970): Population studies of *Myotis lucifugus* (Chiroptera: Vespertilionidae) in Ontario. *Life Sciences Contributions Royal Ontario Museum*, 77: 1–34.
- Feyerabend, F., Simon, M.** (2000): Use of roosts and roost switching in a summer colony of 45 kHz phonic type pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus* Schreber, 1774). *Myotis* 38:51–59.
- Frick, W.F., Reynolds, D.S., Kunz, T.H.** (2009): Influence of climate and reproductive timing on demography of little brown myotis *Myotis lucifugus*. *J. Anim. Ecol.*, doi: 10.1111/j.1365-2656.2009.01615.x.
- Gardner, R.H., O'Neill, R.V.** (1991): Pattern, process and predictability: the use of neutral models for landscape analysis. *In* Quantitative Methods in Landscape Ecology. *Edited by* M.G. Turner and R.H. Gardner. Springer-Verlag, New York. pp. 289–308.
- Garland, T., Jr and Adolph, S. C.** (1991): Physiological differentiation of vertebrate populations. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 22: 193–228.
- Geiser, F., Drury, R.L.** (2003): Radiant heat affects thermoregulation and energy expenditure during rewarming from torpor. *J. Comp. Physiol., B. Biochem. Syst. Env. Physiol.* 173: 55–60.
- Geiser, F., Drury, R.L., Körtner, G., Turbill, C., Pavey, C.R., and Brigham, R.M.** (2004): Passive rewarming from torpor in mammals and birds: energetic, ecological and evolutionary implications. *In* Life in the cold: evolution, mechanism, adaptations, and application. Twelfth International Hibernation Symposium. Biological Papers of the

University of Alaska No. 27. *Edited by* B.M. Barnes and H.V. Carey. Institute of Arctic Biology, University of Alaska, Fairbanks, Alaska. pp. 51–62.

- Geiser, F., Holloway, J.C., Kortner, G., Maddocks, T.A., Turbill, C., Brigham, R.M.** (2000): Do patterns of torpor differ between free-ranging and captive mammals and birds? *In* Life in the Cold: Eleventh International Hibernation Symposium. *Edited by* G. Heldmaier and M. Kligenspor. Springer, Berlin. pp. 95–102.
- Gerell, R., Lundberg, K.** (1985): Social organisation in the bat *Pipistrellus pipistrellus*. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 16: 177–184.
- Grinevitch, L., Holroyd, S.L., Barclay, R.M.** (1995): Sex differences in the use of daily torpor and foraging time by big brown bats (*Eptesicus fuscus*) during the reproductive season. *J. Zool.* 235: 301–309.
- Güttinger, R., Zahn, A., Krapp, F., Schober, W.** (2001): *Myotis myotis* – Großes Mausohr. *In* Handbuch der Säugetiere Europa; Bd. 4: Fledertiere, Teil 1. Chiroptera 1. *Edited by* F. Krapp. Aula Verlag, Wiebelsheim. pp. 123–207.
- Hamilton, I.M., and Barclay, R.M.R.** (1994): Patterns of daily torpor and day-roost selection by male and female big brown bats (*Eptesicus fuscus*). *Can. J. Zool.* 72: 744–749.
- Hanák, V., Jahelková, H., Lučan, R.K.** (2006): Bats of Třeboňsko Biosphere Reserve. *Vespertilio* 9–10: 87–125.
- Hanuš, K.** (1959): K otázce thermoregulace netopýrů. *Věstník Československé zoologické společnosti*, svazek XXIII, č. 4.
- Hátle, F.** (1996): Biosférická rezervace Třeboňsko. *In* Biosférické rezervace České republiky: Příroda a lidé pod záštitou UNESCO. *Edited by* J. Jeník. Empora, Praha. Pp. 137–160.
- Herreid, C.** (1963): Metabolism of the Mexican free-tailed bat. *J. Cell. Comp. Physiol.* 61: 201–207.
- Hock, R.J.** (1951): The metabolic rates and body temperature of bats. *Biol. Bull.* 101: 289–299.
- Hosken, D.J.** (1996): Roost selection by the lesser long-eared bat, *Nyctophilus geoffroyi*, and the greater long-eared bat, *N. major* (Chiroptera: Vespertilionidae), in Banksia woodlands. *J. Royal Soc. West. Aust.*, 79: 211–216.
- Humphrey, S.R.** (1975): Nursery roosts and community diversity of Nearctic bats. *J. Mammal.* 56: 321–346.
- Humphries, M.M., Thomas, D.W., Speakman, J.R.** (2002): Climate-mediated energetic constraints on the distribution of hibernating mammals. *Nature* 418: 313–316.

- Hutchinson, J.T., Lacki, M.J.** (2001): Possible microclimate benefits of roost site selection in the red bat, *Lasiurus borealis*, in mixed mesophytic forests of Kentucky. *Can. Field-Natur.* 115: 205–209.
- Chruszcz, B.J., and Barclay, M.R.** (2002): Thermoregulatory ecology of a solitary bat, *Myotis evotis*, roosting in rock crevices. *Funct. Ecol.* 16: 18–26.
- Kalcounis, M.C., and Brigham, R.M.** (1998): Secondary use of aspen cavities by tree-roosting big brown bats. *J. Wildl. Manage.* 62: 603–611.
- Kaňuch, P.** (2005): Roosting and population ecology of three syntopic tree-dwelling bat species (*Myotis nattereri*, *M. daubentonii* and *Nyctalus noctula*). *Biologia, Bratislava* 60: 579–587.
- Kayser, Ch.** (1940): Les échanges respiratoires des hibernants. Lons-le-Saunier: Declume. pp. 68–75, 273–279.
- Kerth, G., König, B.** (1996): Transponder and an infrared-videocamera as methods in a field study on the social behaviour of Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*). *Myotis* 34: 27–34.
- Kerth, G., König, B.** (1999): Fission, fusion and nonrandom associations in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*). *Behaviour* 136: 1187–1202.
- Kerth, G., Morf, L.** (2004): Behavioural and genetic data suggest that Bechstein's bats predominantly mate outside the breeding habitat. *Ethology* 110: 987–999.
- Kerth, G., Weissmann, K., and König, B.** (2001): Day roost selection in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*): a field experiment to determine the influence of roost temperature. *Oecologia* 126: 1–9.
- Kulzer, E.** (1963): Temperatureregulation bei Flughunden der Gattung *Rousettus* Gray. *Z. vergl. Physiol.* 46: 595–618.
- Kunz, T.H.** (1974): Feeding ecology of a temperate insectivorous bat (*Myotis velifer*). *Ecology* 55: 693–711.
- Kunz, T.H.** (1982): Roosting ecology of bats. *In Ecology of bats. Edited by T.H. Kunz.* Plenum Press, New York. pp. 1–55.
- Kunz, T.H.** (1987): Post-natal growth and energetics of suckling bats. *In Recent advances in the study of bats. Edited by M.B. Fenton, P. Racey, and J.M.V. Rayner.* Cambridge University Press, Cambridge. pp. 395–420.
- Kunz, T.H., and Lumsden, L.F.** (2003): Ecology of cavity and foliage roosting bats. *In Bat ecology. Edited by T.H. Kunz and M.B. Fenton.* University of Chicago Press, Chicago, Illinois. pp. 2–90.

- Kurta, A.** (1986): Factors affecting the resting and postflight body temperature of little brown bats, *Myotis lucifugus*. *Physiol. Zool.* 59: 429–438.
- Kurta, A., Bell, G.P., Nagy, K.A., and Kunz, T.H.** (1989): Energetics of pregnancy and lactation in free-ranging little brown bats (*Myotis lucifugus*). *Physiol. Zool.* 62: 804–818.
- Kurta, A., Johnson, K.A., Kunz, T.H.** (1987): Oxygen consumption and body temperature of female little brown bats (*Myotis lucifugus*) under simulated roost condition. *Physiol. Zool.* 60: 386–397.
- Kurta, A., Williams, K.J., Mies, R.** (1996): Ecological, behavioural and thermal observations of a peripheral population of Indiana bats (*Myotis sodalis*). In *Bats and Forests Symposium*, October 19–21, 1995, Victoria, British Columbia. *Edited by* R.M.R. Barclay and R.M. Brigham. Canada, British Columbia Ministry of Forests, Victoria. pp. 102–117.
- Laufens, G.** (1973): Beiträge zur biologie der fransenfledermause (*Myotis nattereri* Kuhl, 1818). *Z. Säugetierkd.* 38: 1–14.
- Lausen, C.L., Barclay, R.M.R.** (2002): Roosting behaviour and roost selection of female big brown bats (*Eptesicus fuscus*) roosting in rock crevices in southeastern Alberta. *Can. J. Zool. Rev. Can. Zool.* 80: 1069–1076.
- Lausen, C.L., and Barclay, R.M.R.** (2003): Thermoregulation and roost selection by reproductive female big brown bats (*Eptesicus fuscus*) roosting in rock crevices. *J. Zool.* 260: 235–244.
- Lausen, C.L., Barclay, R.M.R.** (2006): Benefits of Living in a Building: Big Brown Bats (*Eptesicus fuscus*) in Rocks versus Buildings. *J. Mammal.* 87(2): 362–370.
- Lewis, S.E.** (1995): Roost fidelity of bats: a review. *J. Mammal.* 76: 481–496.
- Licht, P., Leitner, P.** (1967): Behavioral responses to high temperatures in three species of California bats. *J. Mammal.* 48: 52–61.
- Lourenco, S.I., Palmeirim, J.M.** (2004): Influence of temperature in roost selection by *Pipistrellus pygmaeus* (Chiroptera): relevance for the design of bat boxes. *Biol. Conserv.* 119: 237–243.
- Lučan, R.K.** (2006): Relationships between parasitic mite *Spinturnix andegavinus* (Acari: Spinturnicidae) and its bat host, *Myotis daubentonii* (Chiroptera: Vespertilionidae): seasonal, sex- and age-related variation in infestation and possible impact of parasite on the host condition and roosting behaviour. *Folia Parasitol.* 53: 147–152.

- Lučan, R.K., Hanák, V.** (2002): A long term study of population of Daubenton's bat, *Myotis daubentonii*. Bat Res. News 43:96.
- Lučan, R.K., Hanák, V., Horáček, I.** (2009): Long-term re-use of tree roosts by European forest bats. Forest Ecol. Manage. 258: 1301–1306.
- Lučan, R.K., Hanák, V., Horáček, I.** (2010): Microclimate differences in two artificial roosts of Daubenton's bat (*Myotis daubentonii*) with different population structure. pp 53 – 62 in Lučan R.K. 2010. Population ecology of Daubenton's bat *Myotis daubentonii*. Ph.D. Thesis. České Budějovice.
- Lyman, C.P.** (1948): The oxygen consumption and temperature regulation of hibernating hamsters. J. Exp. Zool. 109: 55–78.
- Lyman, C.P., Wimsatt, W.A.** (1966): Temperature regulation in the vampire bat, *Desmodus rotundus*. Physiol. Zool. 39: 101–109.
- Maloney, S.K., Bronner, G.N., Buffenstein, R.** (1999): Thermoregulation in the Angolan Free-Tailed Bat *Mops condylurus*: A Small Mammal That Uses Hot Roosts. Physiol. Biochem. Zool. 72 (4): 385–396.
- McLean, J.A., Speakman, J.R.** (2000): Effects of body mass and reproduction on the basal metabolic rate of brown long-eared bats (*Plecotus auritus*). Physiol. Biochem. Zool. 73 (1): 112–121.
- McNab, B.K.** (1982): Evolutionary alternatives in the physiological ecology of bats. In Ecology of bats. Edited by T.H. Kunz. Plenum Press, New York. pp.151–200.
- Menzel, M.A., Carter, T.C., Chapman, B.R., and Laerm, J.** (1998): Quantitative comparison of tree roosts used by red bats (*Lasiurus borealis*) and Seminole bats (*L. seminolus*). Can. J. Zool. 76: 630–634.
- Merzbacher, L.** (1903): Untersuchungen an winterschafenden Fledermäusen. II. Mitteilung. Die Nervendegeneration während des winterschlafes. Die Beziehungen zwischen Temperatur und Winterschlaf. Arch. gest. Physiol. 100: 568–585.
- Morrison, P.R.** (1948): Oxygen consumption in several small wild animals. J. Cell. Comp. Physiol. 31: 69–96.
- Nicolai, V.** (1986): The bark of trees: thermal properties, microclimate and fauna. Oecologia 69: 148–160.
- Nyholm, E.S.** (1965): Zur Ökologie von *Myotis mystacinus* und *M. daubentonii*. Ann. Zool. Fenn. 2: 77–123.
- Pearson, O.P.** (1947): The rate of metabolism of some small mammals. Ecol. 28: 127–145.

- Racey, P.A.** (1973): Environmental factors affecting the length of gestation in heterothermic bats. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 19: 175–189.
- Racey, P.A., and Entwistle, A.C.** (2000): Life–history and reproductive strategies of bats. *In* Reproductive biology of bats. *Edited by* E.G. Crichton and P.H. Kruttsch. Academic Press, San Diego, California. pp. 364–414.
- Racey, P.A., and Swift, S.M.** (1981): Variations in gestation length in a colony of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) from year to year. *J. Reprod. Fertil.* 61: 123–129.
- Reeder, W.G., and Cowles, R.B.** (1951): Aspects of thermoregulation in bats. *J. Mammal.* 32: 389–403.
- Rieger, I.** (1996): Wie nutzen Wasserfledermäuse, *Myotis daubentoni* (Kuhl, 1817), ihre Tagesquartiere? *Mammal. Biol.* 61: 202–214.
- Riek, A., Körtner, G., Geiser, F.** (2010): Thermobiology, energetics and activity patterns of the Eastern tube–nosed bat (*Nyctimene robinsoni*) in the Australian tropics: effect of temperature and lunar cycle. *J. Exp. Biol.* 213: 2557–2564.
- Richarz, K., Krull, D., Schumm A.** (1989): Quartieransprüche und Quartierverhalten einer mitteleuropäischen Wochenstubenkolonie von *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806) im Rosenheimer Becken, Oberbayern, mit Hinweisen zu den derzeit bekannten Wochenstubenquartieren diese Art in der BRD. *Myotis* 27:111–130.
- Robinson, K.W., Morrison, P.R.** (1957): The reaction to hot atmospheres of various species of Australian marsupial and placental animals. *J. Cell. Comp. Physiol.* 49: 455–478.
- Rodríguez–Durán, A.** (1995): Rate of metabolisms and thermal conductance in four species of neotropical bats roosting in hot caves. *Comp. Biochem. Physiol. A* 110: 347–355.
- Ruczyński, I.** (2006): Influence of temperature on maternity roost selection by noctule bats (*Nyctalus noctula*) and Leiser’s bats (*N. leisleri*) in Białowieża Primeval Forest, Poland. *Can. J. Zool.* 84: 900–907.
- Safi, K. and Kerth, G.** (2007): Comparative analyses suggest that information transfer promoted sociality in male bats. *Am. Natur.* 170: 465–472.
- Sasse, D.B., and Pekins, P.J.** (1995): Summer roosting ecology of northern long–eared bats (*Myotis septentrionalis*) in the white mountain national forest. *In* Bats and forests. *Edited by* R.M.R. Barclay and M. Brigham. Victoria, British Columbia, Canada. pp. 91–101.
- Seckerdieck, A., Walther, B., Halle, S.** (2005): Alternative use of two different roost types by a maternity colony of the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros*). *Mammal. Biol.* 70: 201–209.

- Sedgeley, J.A.** (2001): Quality of cavity microclimate as a factor influencing selection of maternity roosts by a tree-dwelling bat, *Chalinolobus tuberculatus*, in New Zealand. *J. Appl. Ecol.* 38: 425–438.
- Shiel, C.B., Fairley, J.S.** (1999): Evening emergence of two nursery colonies Leisler's bat (*Nyctalus leisleri*) in Ireland. *J. Zool., London* 247: 439–447.
- Schlapp, G.** (1990): Populationsdichte und Habitatansprüche der Bechsteinsfledermaus *Myotis bechsteini* im Steigerwald. *Myotis* 28: 39–58.
- Schmidt, C.** (2005): Emergence behaviour of a nursery colony of *Myotis brandtii* (Eversmann, 1845) in Saxony. *Myotis* 43: 55–62.
- Slonim, A.D.** (1952): Animal heat and its regulation in the mammalian organism (Russ.). Acad. of Sci., USSR, Moscow. pp. 327.
- Smith, P.G.** (2000): Habitat preference, range use and roosting ecology of Natterer's bats (*Myotis nattereri*) in a grassland-woodland landscape. PhD thesis, University of Aberdeen.
- Smith, P.G., and Racey, P.A.** (2005): The itinerant Natterer: physical and thermal characteristics of summer roosts of *Myotis nattereri* (Mammalia: Chiroptera). *J. Zool.* 266: 171–180.
- Speakman, J.R., Hays, G.C. and Webb, P.I.** (1994): Is hyperthermia a constraint on the diurnal activity of bats? *J. Theor. Biol.* 171 (3): 325–339.
- Speakman, J.R., Racey, P.A.** (1987): The energetics of pregnancy and lactation in the brown long-eared bat, *Plecotus auritus*. In *Recent Advances in the Study of Bats. Edited by* M.B. Fenton, P.A. Racey, J.M.V. Rayner. Cambridge University of Press, Cambridge.
- Speakman, J.R., Thomas, D.W.** (2003): Physiological ecology and energetics of bats. In *Bat ecology. Edited by* T.H. Kunz and M.B. Fenton. The University of Chicago Press, Chicago. pp. 430–490.
- Studier, E.H.** (1981): Energetic advances of slight drops in body temperature in little brown bats, *Myotis lucifugus*. *Comp. Biochem. Physiol. A*, 70: 537–540.
- Thompson, S.D.** (1992): Gestation and lactation in small mammals: basal metabolic rate and the limits of energy use. In *Mammalian Energetics. Edited by* T.H. Tomasi and T.H. Horton. Cornell University Press, Ithaca, NY. pp. 213–259.
- Turbill, C.** (1999): Thermal Biology and Roost Selection of Long-eared Bats, *Nyctophilus geoffroyi*. B.Sc. thesis, University of New England, Armidale, Australia.
- Turbill, C., Kötner, G., and Geiser, F.** (2003): Natural use of heterothermy by a small, tree-roosting bat during summer. *Physiol. Biochem. Zool.* 76: 868–876.

- Vonhof, M.J.** (1995): Roost-site preferences of big brown bats (*Eptesicus fuscus*) and silver-haired bats (*Lasionycteris noctivagans*) in the Pend d'Oreille Valley in Southern British Columbia. In *Bats and forests. Edited by R.M.R. Barclay and M. Brigham*. Victoria, British Columbia, Canada. pp. 62–80.
- Vonhof, M.J., Barclay, M.R.** (1996): Roost site selection and roosting ecology of forest dwelling bats in southern British Columbia. *Can. J. Zool.* 74: 1797–1805.
- Vonhof, M., Barclay, R.M.R.** (1997): Use of tree stumps as roosts by the western long-eared bat. *J. Wildl. Manage.* 61: 674–684.
- Vybíral, S.** (1972): Metodika měření metabolismu. Univerzita Karlova v Praze.
- Webb, P.I., Speakman, J.R., Racey, P.A.** (1993): Defecation, apparent absorption efficiency, and the importance of water obtained in the food for water balance in captive brown long-eared (*Plecotus auritus*) and Daubenton's (*Myotis daubentoni*) bats. *J. Zool.* 230:619–628.
- Webb, P.I., Speakman, J.R., Racey, P.A.** (1996): Population dynamics of a maternity colony of the pipistrelle bat (*Pipistrellus pipistrellus*) in northeast Scotland. *J. Zool., London* 240: 777–780.
- Weiner, P., Zahn, A.** (2000): Roosting ecology, population development, emergence behaviour and diet of a colony of *R. hipposideros* (Chiroptera: Rhinolophidae) in Bavaria. In *Proc. 8th European Bat Research Symposium Vol.1: Approaches to Biogeography and Ecology of Bats. Edited by B.W. Woloszyn*. Krakow, Platan Publishing house. pp. 231–242.
- Wilde, C.J., Knight, C.H., and Racey, P.A.** (1999): Influence of torpor on milk protein composition and secretion in lactating bats. *J. Exp. Zool.* 284: 35–41.
- Willis, C.K.R., and Brigham, R.M.R.** (2004): Roost switching, roost sharing and social cohesion: forest dwelling big brown bats (*Eptesicus fuscus*) conform to the fission–fusion model. *Anim. Behav.* 68: 495–505.
- Willis, C.K.R., and Brigham, R.M.R.** (2005): Physiological and ecological aspects of roost selection by reproductive female hoary bats (*Lasiurus cinereus*). *J. Mammal.* 86: 85–94.
- Willis, C.K.R. and Brigham R.M..R.** (2007): Social thermoregulation exerts more influence than microclimate on forest roost preferences by a cavity-dwelling bat. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 62: 97–108.
- Willis, C.K.R., Brigham, R.M., Geiser, F.** (2006): Deep, prolonged torpor by pregnant free-ranging bats. *Naturwissenschaften* 93: 80–83.

- Wolz, I.** (1986): Wochenstuben–Quartierewechsel bei der Bechsteinfledermaus. Z. Säugetierkunde 51: 65–74.
- Zahn, A.** (1999): Reproductive success, colony size and roost temperature in attic–dwelling bat *Myotis myotis*. J. Zool. 247: 275–280.
- Zahn, A., Henatsch, B.** (1998): Bevorzugt *Myotis emarginatus* kühleren Wochenstubenquartiere als *Myotis myotis*? Z. Säugetierkunde 63: 26–31.
- Zahn, A., Kayikcioglu, A.** (2004): High temperatures and the use of satellite roosts in *Rhinolophus hipposideros*. Mammal. Biol. 69:337–341.
- Zubaid, A., McCracken, G.F., Kunz, T.H.** (2006): Functional and Evolutionary Ecology of Bats. Published by Oxford University Press US.

<http://tyncanskykras.cz/o-jeskynich>, 3. 7. 2010

<http://stranska-skala.ic.cz/?p=34>, 3. 7. 2010

<http://www.mestotyrec.cz/muzeum/kolonie.htm>, 3. 7. 2010

<http://www.ireceptar.cz/zvirata/tajemni-a-ohrozeni-netopyri-na-zahrade/>, 3. 7. 2010

www.ceson.org/monitoring.php, 10. 8. 2010

www.prazskestezky.cz/vinor/v04.html, 10. 8. 2010

<http://www.trebonsko.ochranaprirody.cz/index.php?cmd=page&id=1606&lang=cs>, 10.8.2010